CHIARA MACHADO VIEIRA

ESTUDO ESPAÇO-TEMPORAL DA DISTRIBUIÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS NO TRANSECTO 20° S DO OCEANO ATLÂNTICO SUL

Dissertação apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Oceanografia, área de Oceanografia Química.

Orientadora: Profa. Dra. Elisabete de Santis Braga da Graça Saraiva

SÃO PAULO

2013

CHIARA MACHADO VIEIRA

ESTUDO ESPAÇO-TEMPORAL DA DISTRIBUIÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS NO TRANSECTO 20° S DO OCEANO ATLÂNTICO SUL

Dissertação apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Oceanografia, área de Oceanografia Química.

Aprovada em _____/_____/_____

_____ _____

Profa. Dra. Elisabete de Santis Braga da Graça Saraiva Conceito

_____ _____

Conceito

_____ _____

Conceito

SUMÁRIO

Agradecimentos.....iii

RESUMO.....v

ABSTRACT.....vi

1 INTRODUÇÃO..... 1

1.1 Histórico 3

1.1.1 World Ocean Circulation Experiment (WOCE)..... 3

1.1.2 Comissão Trans-Atlântico I..... 5

1.1.2.1 A Seção A9..... 6

2 OBJETIVOS..... 7

2.1 Objetivo geral 7

2.2 Objetivos específicos..... 7

3 ÁREA DE ESTUDO 8

4 MATERIAL E MÉTODOS..... 15

4.1 Climatologia 15

4.2 World Ocean Circulation Experiment (WHP- WOCE 1991) 15

4.3 Comissão Trans-Atlântico I (TA-I 2009)..... 15

4.3.1 Salinidade e Temperatura 18

4.3.2 Oxigênio dissolvido (OD) 18

4.3.3 Nutrientes 19

4.4 Tratamento de dados..... 20

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 22

5.1 Estudo da distribuição dos parâmetros hidrológicos e hidroquímicos na Seção A9 considerando a lacuna temporal entre as campanhas dos Programas WHP – WOCE (1991) e TA-I (2009)..... 22

5.1.1 Climatologia 22

5.1.2 Temperatura e salinidade 25

5.1.3 Oxigênio Dissolvido (OD) 31

5.1.4 Silicato 35

5.1.5 Fosfato 39

5.1.6 Nitrato 43

5.2 Estudo da distribuição dos parâmetros hidrológicos e hidroquímicos em estações com posições aproximadas nos cruzeiros TA-I e WOCE 48

5.2.1 Temperatura e Salinidade 50

5.2.2 Oxigênio Dissolvido 53

5.2.3 Nutrientes 55

6 ESTUDO DA DISTRIBUIÇÃO DOS PARÂMETROS HIDROLÓGICOS E HIDROQUÍMICOS NA REGIÃO DE RESSURGÊNCIA NA COSTA DA NAMÍBIA 63

6.1 Temperatura e salinidade 64

6.2 Oxigênio Dissolvido 67

6.3 Nutrientes 68

7 CONCLUSÕES 72

8 REFERÊNCIAS 74

Agradecimentos

Aos meus pais e irmãos pelo apoio incondicional e suporte total durante todos esses anos, nessa minha busca por um objetivo tão especial. Nunca vou conseguir agradecer o suficiente por todo o apoio. Muito, muito obrigada!

A Prof. Dra. Elisabete de Santis Braga por ter me recebido sem restrições, de braços abertos e por ter compartilhado seu conhecimento, e me orientado tão atenciosamente durante nossa jornada, rumo a uma oceanografia mais integrada e interdisciplinar.

Ao LABNUT, a todos os meus amigos e companheiros de labuta, aos atuais e aos que já se foram, e que foram de enorme importância para que meu trabalho fosse concluído, as inúmeras análises, planilhas e gráficos do Surfer não seriam terminadas sem a ajuda de vocês, Ana e Bia (minhas irmãs), Cadu, Caio, Cassio, Esther, Fabiana, Flávia, João, Juciene, Juliana, Kátia, em especial ao Leo Kuniyoshi pelo árduo trabalho na obtenção dos dados, Leo Bertini, Lívia, Luana, Lucas, Samara, Ricardo, Thati, Vinicius!

Ao Vitor, mais que um técnico, um amigo, por sua imensa paciência e disposição em ajudar em vários momentos, por dividir seu conhecimento de forma tão generosa.

Ao Instituto Oceanográfico, seus professores e funcionários, em especial às meninas da Secretaria de Pós Graduação e ao pessoal da Biblioteca, pelo suporte técnico e institucional.

Ao Projeto Traçadores químicos e mudanças globais no Atlântico Sul, sob responsabilidade da Profa. Dra. Elisabete de Santis Braga, dentro da I Comissão Oceanográfica Trans-Atlântica (TA-I).

Ao Centro de Hidrografia da Marinha do Brasil (CHM) pela colaboração na aquisição dos dados do Programa TA-I.

E aos amigos e familiares que me acompanharam, de perto ou de longe, na conquista desse, porque não, sonho!

A CAPES, pelo apoio na forma de bolsa, recebido para execução deste estudo.

O mar não é um obstáculo, é um caminho.

Amyr Klink

RESUMO

O Oceano Atlântico Sul tem grande importância no equilíbrio climático global devido ao seu papel na circulação termohalina e no transporte de calor entre os oceanos. Este oceano foi intensamente pesquisado no Programa WOCE, com o transecto A09 (20°S) realizado em 1991, revisitado em 2009 junto ao Programa Trans-Atlântico I, quando foi realizado o subprojeto ***Traçadores químicos e mudanças globais no Atlântico Sul*.** Neste último, foram obtidos dados hidrológicos (temperatura e salinidade) e hidroquímicos (oxigênio dissolvido, silicato, fosfato e nitrato). Considerando também, as informações do WOCE (1991) foi possível reconhecer as massas d'água da região: ATS, ACAS, AIA, APAN e AFA, utilizando parâmetros hidrológicos clássicos e traçadores químicos. O Programa TA-I apresentou algumas diferenças na distribuição dos parâmetros químicos, devidas ao período sazonal de amostragem (WOCE no verão 1991 e TA-I na primavera, 2009) e a consequente influência no padrão de circulação, como também, processos biogeoquímicos predominantes no período. As diferenças observadas foram acompanhadas em perfis verticais de estações com posicionamento quase coincidentes, confirmando as variações, sobretudo entre 500 e 1500 dbar, e maior grau de coincidência dos perfis até 500 dbar. A ressurgência na costa da Namíbia foi caracterizada pela presença de águas ricas em nutrientes, mais frias e ligeiramente menos salinas e pela formação de camada de mínimo de oxigênio acentuada. É importante observar que as diferenças apresentadas não descartam a possível interferência de variações climáticas globais que podem estar atuando no Atlântico Sul.

Palavras chave: Atlântico Sul, nutrientes, massa d'água, traçadores, ressurgência.

ABSTRACT

The South Atlantic Ocean is fundamental in the global climate balance, as well as its role in the thermohaline circulation and in the heat transport between oceans. The transect A09 (20°S) was studied in the WOCE Program in 1991 and revisited in 2009 by the Trans-Atlantic I (TA-I), in the subproject ***Traçadores químicos e mudanças globais no Atlântico Sul,*** which gathered hydrological (temperature and salinity) and hidrochemical parameters (dissolved oxygen, silicate, phosphate and nitrate) Combined with the WOCE data, it was possible to identify the water masses behaviors in this region: TW, SACW, AAIW, NADW and AABW, due to the use of the classic parameters and chemical tracers. The TA-I Program showed few differences in the chemical parameters, because of the seasonal period of the cruise (WOCE at the 1991's summer, and TA-I at the 2009's spring), the influence of the circulation pattern, and also the main biogeochemical processes. The variations observed in the vertical profiles in almost coincident stations, confirmed variations mainly between 500 and 1500 dbar. The largest similarity of the profiles was until 500 dbar. The Namibia coast upwelling was characterized by the presence of nutrients enriched, colder, slightly less saline waters, and by a remarkable oxygen minimum zone. It is important to note that the presented differences do not discard a possible interference of global climate variations that might be acting in the South Atlantic Ocean.

Key words: South Atlantic, nutrients, water masses, tracers, upwelling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização das seções amostradas pelo WHP entre os anos de 1990 e 1998 com perfis de CTD (SCHLITZER, 2000). 4
Figura 2. Localização das seções amostradas pelo WHP entre os anos de 1990 e 1998 com lançamentos de amostradores Rosette (SCHLITZER, 2000). 4
Figura 3. Localização da seção A9 do Programa WOCE (1991) revisitada pelo Programa TAI (2009). 6
Figura 4. Topografia do Oceano Atlântico. (TOMCZAK; SIEDLER, 1994). 9
Figura 5. Representação esquemática das frentes e correntes geostróficas de superfície em larga escala do Oceano Atlântico Sul (PETERSON; STRAMMA, 1991). 10
Figura 6. Representação esquemática das massas d'água presentes no Oceano Atlântico Sul. Massas d'água: NADW, Água Profunda do Atlântico Norte; AABW, Água de Fundo Antártica; AAIW, Água Intermediária Antártica; NACW, Água Central do Atlântico Norte; SACW, Água Central do Atlântico Sul. As flechas indicam as direções das correntes, as linhas tracejadas longas indicam as massas d'água profundas e as linhas tracejadas curtas indicam águas intermediárias. (DWYER; CHANDLER, 2008). 12
Figura 7. Localização das estações do Programa TA-I, dezembro de 2009. 16
Figura 8. Localização das estações: acima Programa TA-I (2009) e abaixo Programa WOCE (1991). 23
Figura 9. Malha de profundidades amostradas: acima no Programa TA-I (2009) e abaixo no Programa WOCE (1991). 24
Figura 10. Distribuição da temperatura em isolinhas nos Programas TA-I 2009 (acima) e WOCE 1991 (abaixo) 28
Figura 11. Distribuição de salinidade em isolinhas nos Programas, TA-I 2009 (acima) e WOCE 1991 (abaixo). 29
Figura 12. Diagramas T-S, referentes às combinações globais de temperatura e salinidade obtidos nos Programas TA-I (2009) à esquerda, em azul e WOCE (1991) à direita, em vermelho. 30
Figura 13. Distribuição das concentrações de oxigênio dissolvido em isolinhas nos programas TA-I 2009 (acima) e WOCE 1991 (abaixo). 33
Figura 14. Distribuição das concentrações de silicato dissolvido em isolinhas nos Programas TA-I 2009 (acima) e WOCE 1991 (abaixo). 37
Figura 15. Concentração de silicato dissolvido (em escala de cor) para cada combinação de dispersão dos valores globais de oxigênio dissolvido (eixo x) e profundidade (eixo y) nos Programas TA-I 2009 (esquerda) e WOCE 1991(direita). 38
Figura 16. Concentração de silicato dissolvido (em escala de cor) para cada combinação da dispersão em diagrama T-S dos valores globais de temperaturas e salinidade nos Programas TA-I 2009 (esquerda) e WOCE 1991 (direita). 38
Figura 17. Distribuição das concentrações de fosfato dissolvido em isolinhas nos Programas TA-I 2009 (acima) e WOCE 1991 (abaixo). 41

Figura 18. Concentração de fosfato dissolvido (em escala de cor) para cada combinação de dispersão dos valores globais de oxigênio dissolvido (eixo x) e profundidade (eixo y) nos Programas TA-I 2009 (esquerda) e WOCE 1991(direita). 42
Figura 19. Concentração de fosfato dissolvido (em escala de cor) para cada combinação da dispersão em diagrama T-S dos valores globais de temperaturas e salinidade nos Programas TA-I 2009 (esquerda) e WOCE 1991 (direita)..... 42
Figura 20. Distribuição das concentrações de nitrato dissolvido em isolinhas nos Programas TA-I 2009 (acima) e WOCE 1991 (abaixo). 45
Figura 21. Concentração de nitrato dissolvido (em escala de cor) para cada combinação de dispersão dos valores globais de oxigênio dissolvido (eixo x) e profundidade (eixo y) nos Programas TA-I 2009 (esquerda) e WOCE 1991(direita). 46
Figura 22. Concentração de nitrato dissolvido (em escala de cor) para cada combinação da dispersão em diagrama T-S dos valores globais de temperaturas e salinidade nos Programas TA-I 2009 (esquerda) e WOCE 1991 (direita)..... 46
Figura 23. Localização das estações dos programas TA-I (+) e WOCE (○)..... 49
Figura 24. Localização das estações mais próximas nos Programas TA-I (+) e WOCE (□), nas regiões oeste (BW), central (MA) e leste (BE). 49
Figura 25. Perfis verticais de distribuição de temperatura nas estações com localizações próximas nos três Programas: (a) região oeste (BW), (b) cordilheira Meso-Atlântica (MA) e (c) região leste (BE) (+ TA-I, 2009 □ WOCE, 1991)..... 51
Figura 26. Perfis verticais de distribuição de salinidade nas estações com localizações próximas nos três Programas: (a) região oeste (BW), (b) cordilheira Meso-Atlântica (MA) e (c) região leste (BE) (+ TA-I, 2009 □ WOCE, 1991)..... 52
Figura 27. Perfis verticais de distribuição de oxigênio dissolvido nas estações com localizações próximas nos três Programas: (a) região oeste (BW), (b) cordilheira Meso-Atlântica (MA) e (c) região leste (BE) (+ TA-I, 2009 □ WOCE, 1991)..... 54
Figura 28. Perfis verticais de distribuição de silicato nas estações com localizações próximas nos três Programas: (a) região oeste (BW), (b) cordilheira Meso-Atlântica (MA) e (c) região leste (BE) (+ TA-I, 2009 □ WOCE, 1991)..... 57
Figura 29. Perfis verticais de distribuição de fosfato nas estações com localizações próximas nos três Programas: (a) região oeste (BW), (b) cordilheira Meso-Atlântica (MA) e (c) região leste (BE) (+ TA-I, 2009 □ WOCE, 1991)..... 59
Figura 30. Perfis verticais de distribuição de nitrato nas estações com localizações próximas nos três Programas: (a) região oeste (BW), (b) cordilheira Meso-Atlântica (MA) e (c) região leste (BE) (+ TA-I, 2009 □ WOCE, 1991)..... 61
Figura 31. Localização das estações 87 a 90 no Programa TA-I, consideradas para análise do processo de ressurgência da costa oeste da África. 63
Figura 32. Distribuição de temperatura em isolinhas no programa TA-I (dezembro, 2009), na região da ressurgência costeira do sistema Angola – Benguela, próximo à costa da Namíbia. 65
Figura 33. Distribuição de salinidade em isolinhas no programa TA-I (dezembro, 2009), na região da ressurgência costeira do sistema Angola – Benguela, próximo à costa da Namíbia. 65

Figura 34. Diagrama T-S relativo ao Programa TA-I (2009), com as estações próximas a região da ressurgência em destaque (+ TA-I e Δ região da ressurgência)..... 66
Figura 35. Distribuição de oxigênio dissolvido em isolinhas no programa TA-I (dezembro, 2009), na região da ressurgência costeira do sistema Angola – Benguela, próximo à costa da Namíbia. 67
Figura 36. Distribuição de silicato em isolinhas no programa TA-I (dezembro, 2009), na região da ressurgência costeira do sistema Angola – Benguela, próximo à costa da Namíbia. 68
Figura 37. Distribuição de fosfato em isolinhas no programa TA-I (dezembro, 2009), na região da ressurgência costeira do sistema Angola – Benguela, próximo à costa da Namíbia. 69
Figura 38. Distribuição de nitrato em isolinhas no programa TA-I (dezembro, 2009), na região da ressurgência costeira do sistema Angola – Benguela, próximo à costa da Namíbia. 70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características das massas d'água mais relevantes do Oceano Atlântico Sul segundo diversos autores. 14
Tabela 2. Coordenadas das estações (latitudes e longitudes em graus) realizadas pelo projeto TA-I. 17
Tabela 3. Estações com maior proximidade nos dois Programas (TA-I 2009 e WOCE, 1991). Número da estação, latitude, longitude das estações, profundidade de trabalho e suas nova denominações. 48

1 INTRODUÇÃO

Os oceanos exercem um papel fundamental nos estudos de variabilidade e mudanças do clima no planeta Terra. A substância água possui importantes propriedades físico-químicas como alta densidade e alto calor específico, transformando os oceanos em importantes reguladores do clima, devido a sua capacidade de armazenar, transportar e distribuir grandes quantidades de calor (capacidade reguladora). Os sais nutrientes desempenham um papel interessante no estudo do clima, pois estão intimamente relacionados ao ciclo do carbono no oceano, participando ativamente dos processos de assimilação do CO_2 pelo fitoplâncton marinho para a composição da matéria orgânica nas camadas superficiais, onde há presença de luz utilizada como fonte energética. Além disso, as distribuições de oxigênio dissolvido e dos nutrientes principais como fosfato, silicato, nitrato são parâmetros importantes que podem ser utilizados como traçadores de massas de água abaixo da camada eufótica e também, na distinção das camadas superficiais. Também nas camadas superficiais, a matéria orgânica produzida passa pela cadeia trófica e pode ser reciclada na própria camada eufótica, ou exportada para as camadas mais profundas, contribuindo ao afundamento do carbono, e sujeita aos processos de remineralização. Portanto, o conhecimento da distribuição dos nutrientes na coluna d'água contribui para um melhor entendimento do papel dos oceanos no sistema climático global.

O Oceano Atlântico é passagem entre as regiões de formação de massas d'água e os outros oceanos, como por exemplo, as massas d'água que tem sua origem no Mar de Weddell, avançam a partir do sul e contribuem para o transporte meridional. A circulação do Atlântico Sul é parte fundamental da célula de circulação meridional do Atlântico, pois apresenta uma característica singular em relação ao transporte de calor. A Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) flui para o sul, esse transporte de água fria é compensado pelo transporte de águas superficiais mais quentes do hemisfério sul, através da Corrente Sul Equatorial e da Corrente Norte do Brasil. Essa troca de calor e massa é uma manifestação local, conhecida como "Conveyor Belt", Cinturão de Transporte Termohalino (GORDON, 1989). Com isso, o transporte meridional de calor

em latitudes médias e baixas no Atlântico Sul é dirigido para o norte, ao contrário do esperado, ou seja, calor do equador indo para os pólos (CAMPOS, 1995). Por essa razão, o Oceano Atlântico Sul pode ser considerado como a conexão entre o Atlântico Norte e os outros oceanos na circulação termohalina global (PETERSON; STRAMMA, 1991). Portanto, variações nos parâmetros hidrológicos nessa região podem acarretar mudanças significativas no âmbito global.

O Oceano Atlântico é um oceano de grande extensão, ocupando uma área de aproximadamente 10,6 10^7 km^2 (TOMCZAK; GODFREY, 1994) que contorna vários continentes, influenciando o clima nos dois hemisférios do planeta. A porção norte possui um vasto conjunto de estudos nos mais variados temas, com isso essa região e seu papel nas várias formas de interações entre os compartimentos terrestre, marinho e atmosférico estão muito bem descritos. Já a porção sul do oceano Atlântico, ainda hoje é considerada uma região menos explorada no âmbito científico, com várias questões a serem formuladas e respondidas, como por exemplo, entender o papel da Zona de Confluência Brasil-Malvinas nas respostas às variações climáticas e a sensibilidade do Atlântico Sul aos possíveis cenários de mudanças globais.

As preocupações atuais com as mudanças climáticas e as emissões de carbono na atmosfera contribuem ao aumento dos estudos oceânicos, incluindo o enfoque na captação do carbono, que está ligada à disponibilidade de luz e nutrientes, acentuando a importância de estudos da distribuição espacial e temporal dos mesmos considerando também os alertas apresentados no Painel Internacional de Mudanças Globais (IPCC).

Com o objetivo de melhor conhecer e caracterizar os oceanos, vários projetos internacionais percorreram o globo, inclusive o Oceano Atlântico, em sua a porção sul, contribuindo para uma melhor compreensão do papel deste nas interações entre os outros oceanos. Nos anos 70, o *Geochemical Ocean Sections Study* (GEOSECS) realizou cruzeiros no Oceano Atlântico. Entre 1990 e 1997, o *World Ocean Circulation Experiment* (WOCE), uma ramificação do *World Climate Research Programme* (WCRP), contou com a colaboração de mais de 30 países para realizar um projeto de observações via satélites e *in situ* em todos os oceanos. Em 2003, o Centro de Pesquisas e Tecnologia Marinha do Japão (JAMSTEC) realizou um cruzeiro pelo hemisfério sul, que foi chamado de *Blue Earth Global Expedition* (BEAGLE), revisitando alguns dos transectos realizados anteriormente pelo WOCE.

E recentemente, nos anos 2000, a comunidade científica brasileira em colaboração com a Marinha do Brasil promoveu a Comissão Oceanográfica Trans-Atlântico I, revisitando dois transectos do programa WOCE no Oceano Atlântico Sul, o A9 e A10.

1.1 Histórico

1.1.1 World Ocean Circulation Experiment (WOCE)

Na década de 90, a comunidade científica a fim de responder a questões sobre a validade das previsões climatológicas globais, por meio do *World Climate Research Program* (WCRP), institui o Programa *World Ocean Circulation Experiment* (WOCE). Esse programa, patrocinado por organizações intergovernamentais e não governamentais, tinha por objetivo estudar o papel dos oceanos no sistema climático global. Cientistas de aproximadamente 30 países, inclusive o Brasil, se reuniram e combinaram esforços para realizar um experimento de observação e coleta de dados oceânicos no âmbito internacional entre 1990 e 1997. Os objetivos principais do programa eram:

- desenvolver modelos oceânicos que pudessem ser utilizados em modelos climáticos e coletar dados necessários para testar esse modelo.

- determinar a representatividade do conjunto de dados do WOCE para o comportamento de longo prazo do oceano e encontrar métodos para determinar as mudanças de longo prazo na circulação oceânica.

Para alcançar esses objetivos, diversos subprogramas foram criados dentro do WOCE. Entre eles, o *WOCE Hidrography Program* (WHP) foi o responsável pela aquisição de dados oceanográficos físicos (temperatura e salinidade) e químicos (oxigênio dissolvido, nutrientes, CFC's, trítio/hélio, ^{14}C) que permitiram desenvolver padrões sobre a circulação oceânica. Os transectos realizados no Programa WOCE encontram-se nas figuras 1 e 2.

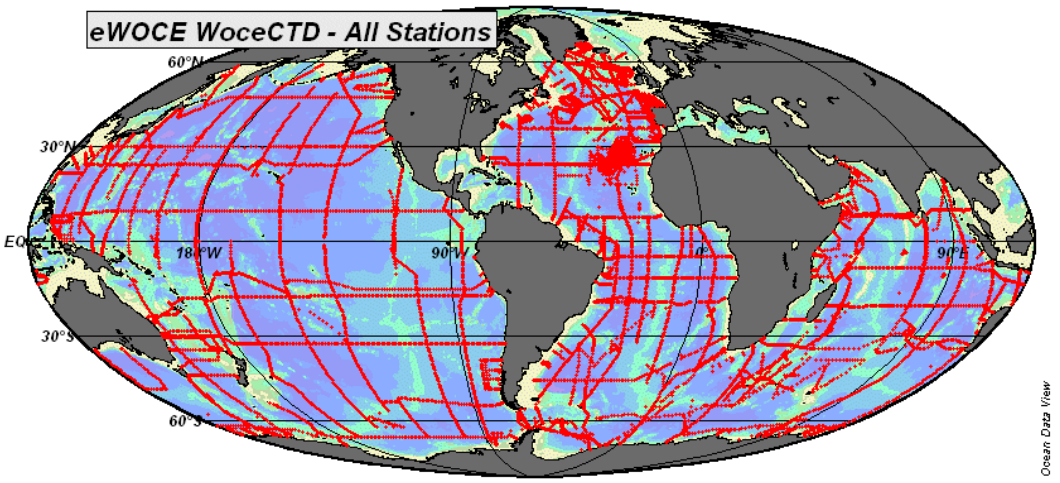

Figura 1. Localização das seções amostradas pelo WHP entre os anos de 1990 e 1998 com perfis de CTD (SCHLITZER, 2000).

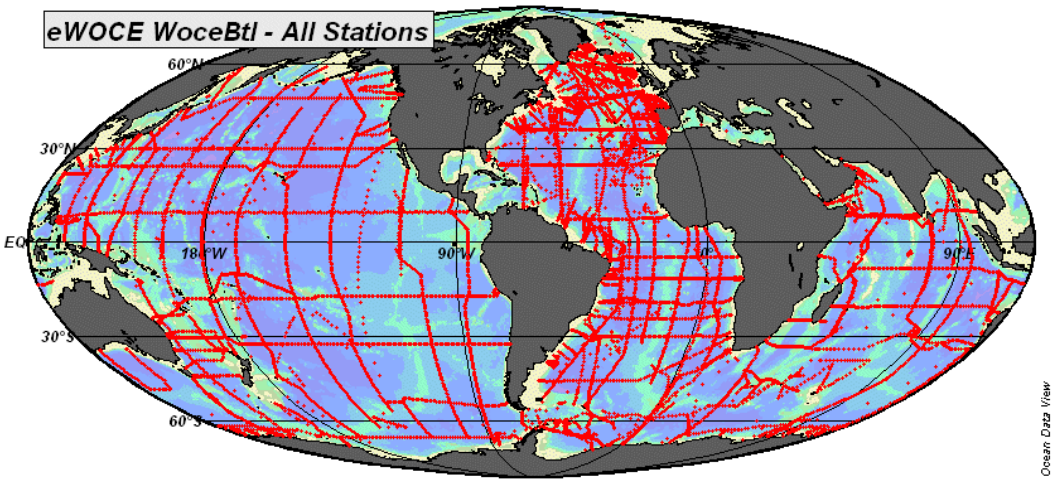

Figura 2. Localização das seções amostradas pelo WHP entre os anos de 1990 e 1998 com lançamentos de amostradores Rosette (SCHLITZER, 2000).

O transecto A9 foi realizado no Programa WOCE por uma equipe multinacional, a bordo do Navio de Pesquisa Oceanográfico Meteor. O cruzeiro ocorreu no período entre 11 de fevereiro de 1991 e 23 de março de 1991.

1.1.2 Comissão Trans-Atlântico I

A primeira Comissão Oceanográfica Trans-Atlântica (TA-I) foi fruto de um projeto de colaboração e esforço da comunidade científica acadêmica brasileira, Ministério da Ciência e Tecnologia e Marinha do Brasil. As instituições participantes foram Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Universidade de São Paulo (USP), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ), Universidade Estadual Fluminense (UENF), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As Universidades Federais do Paraná (UFPR) e do Espírito Santo (UFES) foram co-participantes.

O objetivo maior dessa expedição foi a aquisição de dados oceanográficos e meteorológicos, os quais permitiriam um melhor conhecimento das dinâmicas atmosféricas e oceânicas do Atlântico Sul. Dentro desta expedição, o Projeto ***Traçadores químicos e mudanças globais no Atlântico Sul,*** coordenado pela Dra. Elisabete S. Braga, deu suporte a esta pesquisa e teve como objetivo específico, o acompanhamento das alterações nas propriedades físicas e químicas das massas de água no Atlântico Sul com base parâmetros conservativos tradicionais (T e S) e também na aplicação de traçadores químicos de massas de água, como os nutrientes, abaixo da camada eufótica, já que esses são os parâmetros usualmente utilizados para identificação de massas d'água, permitindo o confronto das informações obtidas com dados pretéritos e para observação das possíveis alterações espaciais e temporais.

Dentro da Comissão Trans-Atlântica I (TA-I), o subprojeto **Traçadores Químicos e as Mudanças Globais no Atlântico Sul** obteve dados hidrológicos e químicos na revisita dos transectos WOCE A9 (20° S) e A10 (30° S), sendo que o A10 foi estudado por Delfim (2012), membro da equipe LABNUT-IOUSP, e o transecto A9 será objeto do estudo atual.

1.1.2.1 A Seção A9

Assim, o estudo do transecto A9, que se localiza na latitude 20°S do Oceano Atlântico Sul (Fig.3), tem uma importância relevante devido a capacidade da porção sul do Oceano Atlântico transportar calor do hemisfério sul para o norte e as consequentes implicações na manutenção do clima do planeta.

O Programa TA-I revisitou o transecto A9 no período de 1 a 20 de dezembro de 2009, no final da primavera austral, a bordo da embarcação NHOc Cruzeiro do Sul pertencente a Marinha do Brasil.

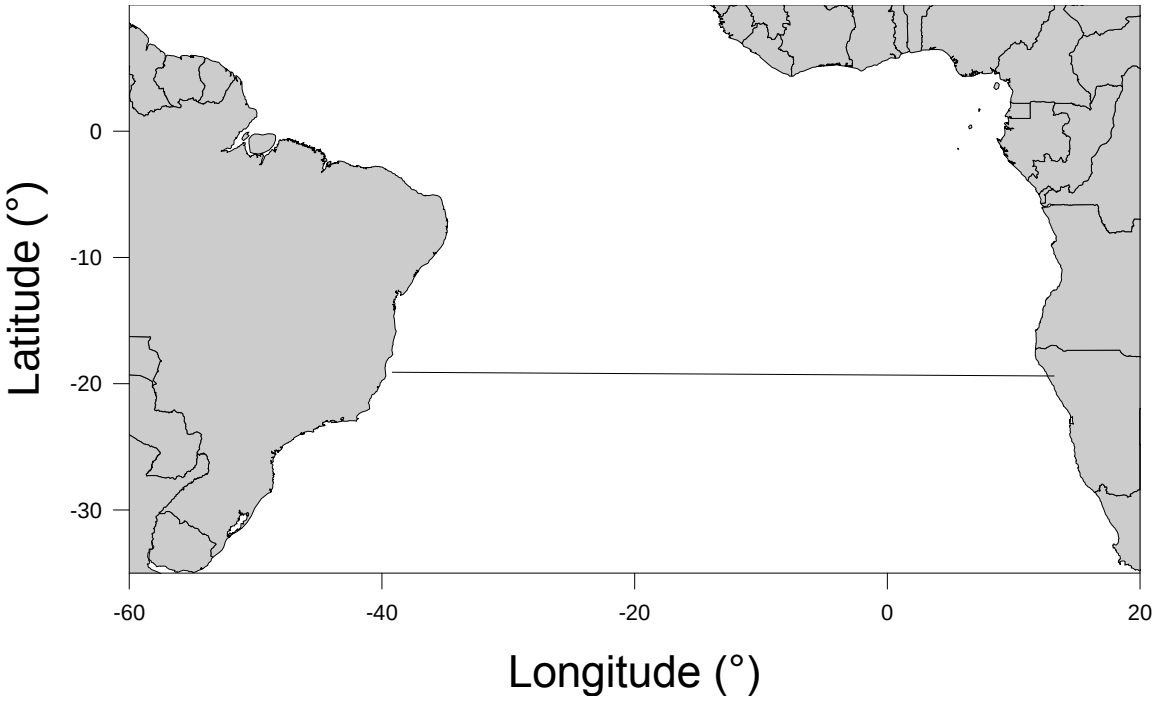

Figura 3. Localização da seção A9 do Programa WOCE (1991) revisitada pelo Programa TAI (2009).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Identificar o modelo de distribuição espacial e temporal dos parâmetros oceanográficos ao longo do transecto 20°S com base no banco de dados WOCE (seção A9/1991) e nos dados do Projeto TA-I (2009) obtidos pela equipe LABNUT/IOUSP em parceria com a o CHM, observando também, os possíveis reflexos de alterações climáticas nas distribuições das propriedades termohalinas e de nutrientes nas últimas décadas.

Considerando a disponibilidade de dados obtidos pelo Programa WOCE e a revisitação mais recente do transecto A9 pelo Projeto TA-I e ainda, observando-se a proposta original do Programa WOCE em determinar a representatividade do conjunto de dados obtidos para o comportamento de longo prazo do oceano, o atual estudo pretende aproveitar esta oportunidade para uma observação temporal.

2.2 Objetivos específicos

- Com base em parâmetros hidrológicos e hidroquímicos obtidos no Programa WOCE e nos dados obtidos no Projeto TA-I, reconhecer as massas d'água ao longo da seção A9 segundo as características termohalinas e dados de traçadores químicos (oxigênio dissolvido e nutrientes).

- Apontar as diferenças no padrão de distribuição das massas de água considerando as variações espaciais e temporais de cada conjunto de dados.

- Caracterizar os perfis verticais de distribuição dos parâmetros físicos e químicos em estações quase coincidentes em termos de posição obtidas no Programa TA-I e no

Programa WOCE com objetivo de identificar variações, considerando o lapso de tempo entre elas.

- Caracterizar o processo de ressurgência junto à costa da Namíbia, extremo leste da seção amostrada, considerando as diferenças no cenário de amostragem.

- Observar qual o grau de associação entre os padrões de distribuição das propriedades na região de estudo considerando o contexto climático de cada período de amostragem.

3 ÁREA DE ESTUDO

O Oceano Atlântico é dividido de forma bastante equilibrada em uma série de bacias a leste e oeste da Cordilheira Meso-Atlântica (Fig.4), que em muitas áreas atingem menos de 1000 m de profundidade, mas que geralmente atinge 2000 m de profundidade, e consequentemente tem um forte impacto sobre a circulação das camadas mais profundas. Existem diferenças entre as profundidades a leste e a oeste da Cordilheira próximo a 30°S. Na porção oeste, existe a Elevação de Rio Grande que atinge 650 m, e poderia ser considerada uma barreira, mas a presença da Depressão de Rio Grande permite a passagem de águas profundas até o nível de 4400 m. Na porção leste, a Cordilheira Ridge, que não chega a 700 m de profundidade, bloqueia o fluxo de água no nível de 4000 m. Outra feição importante a ser mencionada é a Zona de Fratura Romanche, a aproximadamente 20 km ao norte do Equador, que permite o movimento entre as bacias ocidentais e orientais de águas profundas de até 4500 m. Existem outras zonas de fraturas com essas características, mas a fratura Romanche é a primeira oportunidade das águas vindas do sul conseguirem atravessar a barreira imposta pela Coridlheira Meso Atllântica (TOMCZAK; GODFREY, 1994).

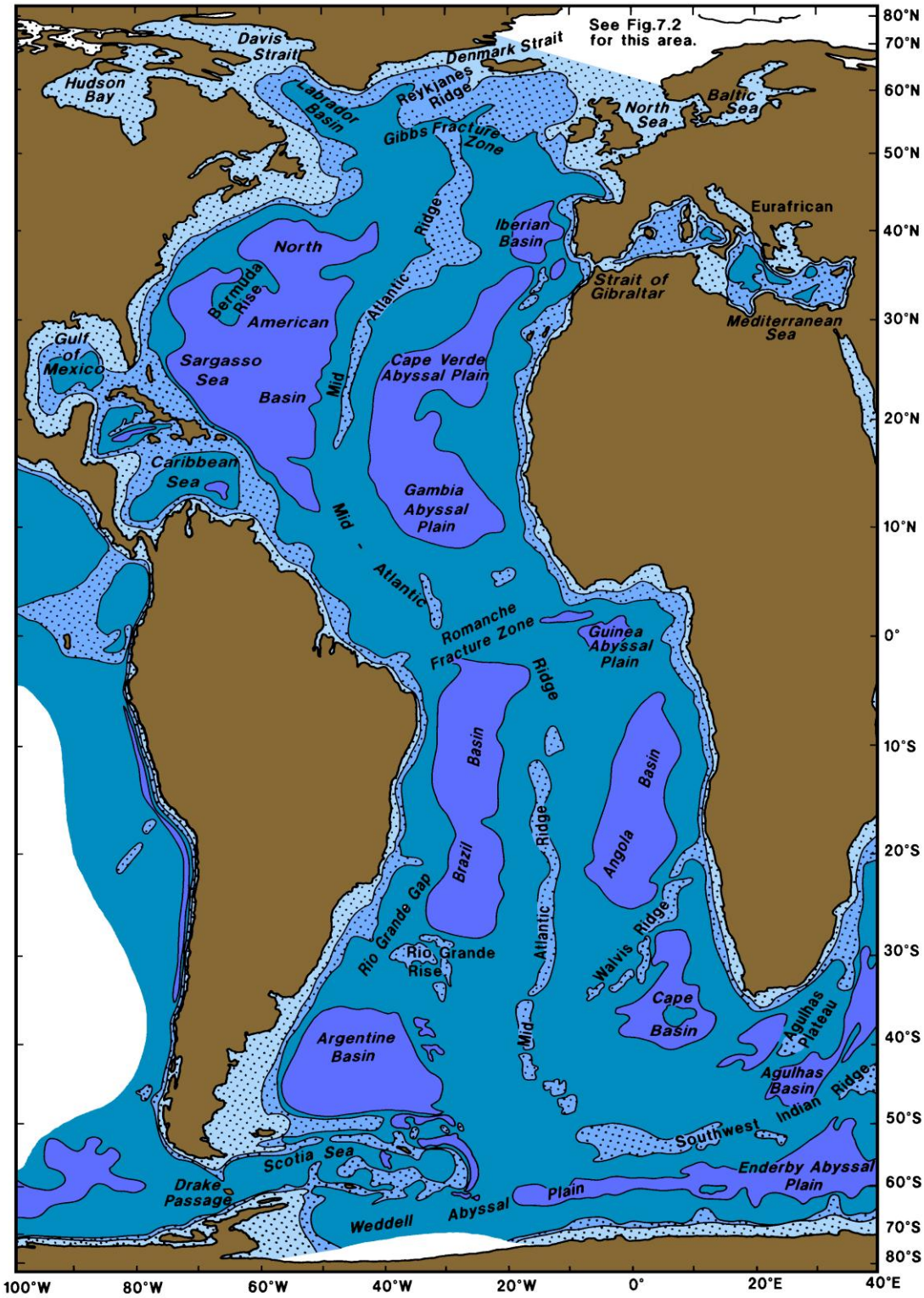

Figura 4. Topografia do Oceano Atlântico. (TOMCZAK; SIEDLER, 1994).

A circulação de larga escala no Atlântico Sul (Fig.5) é determinada pelo giro Subtropical do Atlântico Sul, que é um giro anticiclônico composto pela Corrente de

Benguela a leste, Corrente Sul Equatorial a norte, Corrente do Brasil a oeste e Corrente do Atlântico Sul ao sul. Além dessas, o giro também sofre influência da corrente das Malvinas, da Corrente das Agulhas e da Corrente Circumpolar Antártica (PETERSON; STRAMMA, 1991).

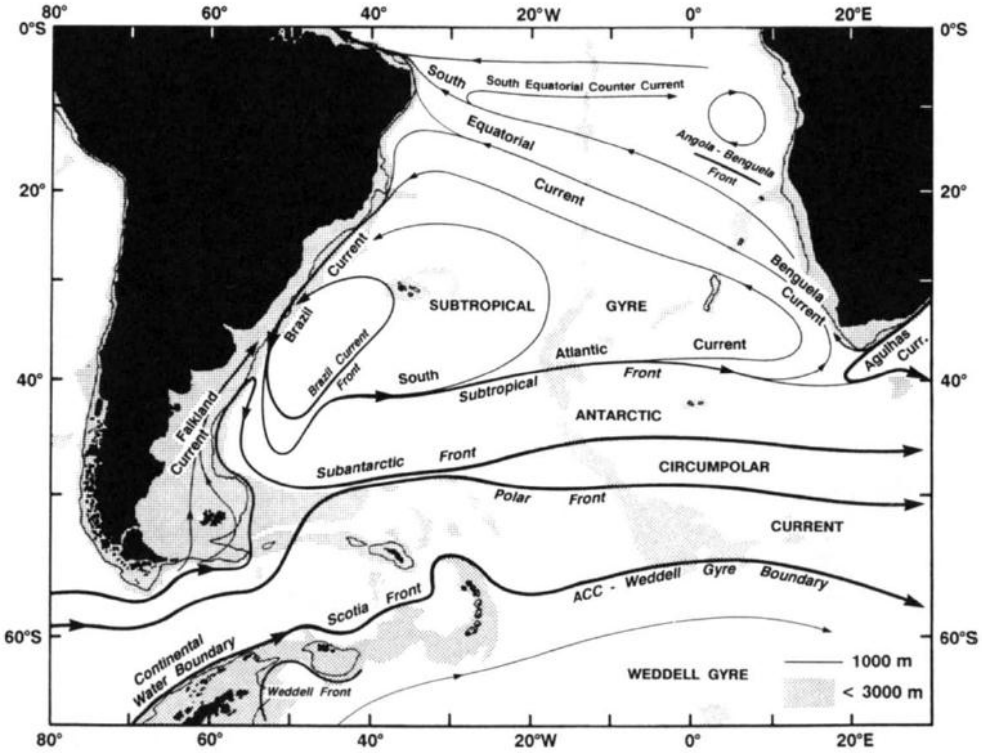

Figura 5. Representação esquemática das frentes e correntes geostróficas de superfície em larga escala do Oceano Atlântico Sul (PETERSON; STRAMMA, 1991).

A Corrente de Benguela contorna o lado leste do giro subtropical do Atlântico Sul e flui para o norte ao longo da costa africana até aproximadamente 30° S, onde começa a se afastar do continente seguindo em direção noroeste, nesta região junta-se a Corrente Sul Equatorial e recebe o reforço dos ventos alísios em direção ao continente sul americano. As condições atmosféricas na região da corrente de Benguela, segundo Peterson e Stramma (1991) são influenciadas pelo sistema de alta pressão do Atlântico Subtropical e pelo de baixa pressão que se desenvolve acima do continente africano no verão. Com isso, os ventos de sul e sudeste direcionam as águas superficiais para fora da costa gerando uma zona de ressurgência costeira.

A Corrente do Atlântico Sul atravessa o Oceano Atlântico com direção leste entre 35°S e 45°S, formando o limite Sul do giro subtropical (PETERSON; STRAMMA, 1991). Esta corrente se diferencia da Corrente Circumpolar Antártica pela presença da Frente Subtropical, que se manifesta na zona de confluência das correntes do Brasil e das Malvinas (Falklands).

A Corrente Sul Equatorial flui para Oeste e é composta por dois braços, um mais fraco entre 10° S e 20° S e outra ao longo do Equador. Seu braço mais fraco flui para Sul, originando a Corrente do Brasil e o mais forte flui para o norte, originando a Corrente Norte do Brasil, transportando água do hemisfério Sul para o hemisfério Norte. A circulação nessa região é controlada principalmente pela tensão de cisalhamento do vento (PETERSON; STRAMMA, 1991).

A Corrente do Brasil contorna a costa brasileira em direção ao Sul transportando águas quentes e salinas. Ao sul encontram as águas frias e salinas da Corrente das Malvinas, essa região é chamada de Zona de Confluência Brasil-Malvinas, localizada entre 38°S e 46°S, e é considerada uma das regiões mais energéticas do globo, caracterizada por fortes mudanças verticais e horizontais na temperatura, salinidade e nutrientes (GORDON; GREENGROVE, 1986; GORDON, 1989; IKEDA et al., 1989). Nesse ponto, as duas correntes são desviadas para leste, com ajuda de ventos predominantes de oeste, dando origem a Corrente do Atlântico Sul.

A Corrente das Agulhas contorna a plataforma continental sudeste do continente africano, flui para Sudoeste e a 34°S se separa da costa. Neste ponto, a corrente flui ao longo do Banco das Agulhas, onde reflete de volta para o Oceano Índico.

A Corrente Circumpolar Antártica é a única corrente que flui ao redor do globo, sem nenhum obstáculo, com ventos de Oeste, localizada no Oceano Austral a 60°S tem características barotrópicas, não limitando a corrente às camadas superficiais, chegando a profundidades de até 4000 m.

A Corrente das Malvinas é composta por um fluxo de Água Subantártica com origem em uma ramificação da Corrente Circumpolar Antártica, que aparece logo após a passagem de Drake. Esse fluxo de água fria segue para o Norte ao longo da costa sul americana até aproximadamente 38°S, onde encontra a Corrente do Brasil e retroflete no sentido horário, passando a fluir paralela a Corrente do Brasil.

A região também é percorrida por massas d'água, que consistem em grandes volumes de água, formado em determinada região do oceano, que fluem ao longo do tempo com suas características físicas, químicas e biológicas quase que constantes e contínuas (MAMAYEV, 1975). Estes corpos d'água são identificados por terem uma formação histórica comum, tendo sua origem numa região particular do oceano (TOMCZAK, 1999). A maioria dos processos de formação de uma massa d'água ocorre na superfície, depois de formadas elas submergem e são transportadas pelas correntes, e não tem mais contato com a atmosfera, conservando dessa forma, suas propriedades iniciais. Por se moverem lentamente quando comparadas às massas de ar, as massas d'água respondem mais devagar a variações nas condições climáticas.

O Oceano Atlântico Sul é percorrido por diversas massas d'água, entre elas, a Água Tropical (AT), a Água Central do Atlântico Sul (ACAS), a Água Intermediária Antártica (AIA), a Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) e a Água de Fundo Antártica (AFA) (Fig. 6).

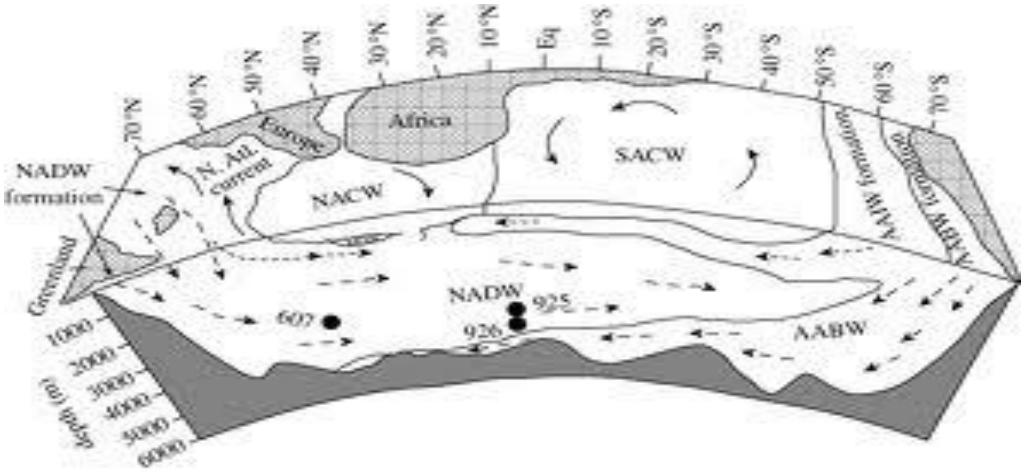

Figura 6. Representação esquemática das massas d'água presentes no Oceano Atlântico Sul. Massas d'água: NADW, Água Profunda do Atlântico Norte; AABW, Água de Fundo Antártica; AAIW, Água Intermediária Antártica; NACW, Água Central do Atlântico Norte; SACW, Água Central do Atlântico Sul. As flechas indicam as direções das correntes, as linhas tracejadas longas indicam as massas d'água profundas e as linhas tracejadas curtas indicam águas intermediárias. (DWYER; CHANDLER, 2008).

A Água Tropical de Superfície (ATS) é uma parte da massa de água quente e salina que ocupa a superfície do Atlântico Sul Tropical, carregada pela Corrente do Brasil sendo formada devido à alta radiação solar e ao desequilíbrio entre a evaporação e precipitação na região, compreende uma camada superficial até aproximadamente 75-100 metros de profundidade e é caracterizada por temperaturas superiores a 20° C e salinidades superiores a 36 (EMILSSON, 1961).

A Água Central do Atlântico Sul (ACAS) é formada pelo afundamento das águas na região da Convergência Subtropical entre 30°S e 40°S. Essa massa d'água é transportada em direção a leste pelas Correntes do Atlântico Sul e de Benguela, e através da Corrente Sul Equatorial retorna e atinge a costa da América do Sul. Devido às bifurcações que ocorrem nas correntes de superfície, parte dessa massa é levada rumo ao Equador pela Corrente Norte do Brasil, e a outra parte é carregada na direção Sul pela Corrente do Brasil (SILVEIRA et al., 2000). Na Bacia Oeste, a ACAS está localizada entre 100 – 300 e 600 – 800 metros de profundidade, com temperaturas entre 6° C e 20° C e salinidade entre 34,6 e 36 (BRAGA; MULLER, 1998).

A Água Intermediária Antártica (AIA) é formada no sudeste do Oceano Pacífico, de onde flui para o Oceano Atlântico através da Passagem de Drake, ao norte da Frente Subantática. A massa d'água se distribui em níveis intermediários (entre 500 e 1000 m, chegando a até 1200 m em algumas regiões) pelo Oceano Atlântico até aproximadamente 20°N. É caracterizada por temperaturas entre 3° C e 6° C e salinidade entre 34,2 e 34,6. (SVERDRUP, JOHNSON, FLEMING, 1942; OUDOT et al., 1999).

A Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) é formada nas altas latitudes do Oceano Atlântico Norte e flui para Sul ao longo do contorno oeste até aproximadamente 32° S, onde uma parte retorna em direção ao Equador (REID, 1989). Pode ser caraterizada por temperaturas entre 3° C e 4° C e salinidades entre 34,6 e 35, geralmente é encontrada em profundidades de 1000 metros a 3500 metros (SILVEIRA et al., 2000).

A Água de Fundo Antártica (AFA) é encontrada nas três bacias oceânicas, é formada durante o inverno ao redor do continente antártico, particularmente nos mares de Weddell e Ross. Suas características termohalinas são temperaturas abaixo de 2° C e salinidades abaixo de 34,8 (EMERY, 2003).

A tabela 1 apresenta um resumo das propriedades termohalinas das massas de água do Atlântico Sul segundo os autores citados anteriormente.

Tabela 1. Características das massas d'água mais relevantes do Oceano Atlântico Sul segundo diversos autores (EMERY, 2003; EMILSSON, 1961; SILVEIRA et al., 2000; SVERDRUP et al., 1942).

Massas	**Temperatura**	**Salinidade**
AT	$T \geq 20°$	$S \geq 36$
ACAS	$6° \leq T < 20°$	$34,6 < S < 36$
AIA	$3° \leq T < 6°$	$34,2 < S \leq 34,6$
APAN	$3° < T < 4°$	$34,6 < S < 35$
AFA	$T \leq 2°$	$S \leq 34,8$

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Climatologia

Os dados meteorológicos da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) de dezembro de 2009 foram obtidos em http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim

As informações sobre a ocorrência e magnitude de El Niño para os anos de 1991 e 2009 foram obtidas no site do CPTEC, http://enos.cptec.inpe.br

4.2 World Ocean Circulation Experiment (WHP- WOCE 1991)

O cruzeiro do Programa WOCE foi realizado pelo Navio Oceanográfico alemão R/V METEOR no período de 11 de fevereiro de 1991 a 23 de março de 1991, final do verão austral.

Com o objetivo de analisar a variação temporal dos parâmetros hidrológicos e hidroquímicos (temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido, silicato, fosfato e nitrato) foi recuperada a base de dados do Projeto WHP-WOCE. O banco de dados se encontra disponível na *internet* no seguinte endereço eletrônico: www.ewoce.org/data/index.html

4.3 Comissão Trans-Atlântico I (TA-I 2009)

Os dados do Programa TA-I foram obtidos no cruzeiro a bordo da embarcação NHOc Cruzeiro do Sul da Marinha do Brasil, no período de 1 a 20 de dezembro de 2009, final da primavera austral. Foram coletadas amostras em 52 estações, numeradas de #87 a #138, cuja localização está figura 7 com as coordenadas na tabela 2.

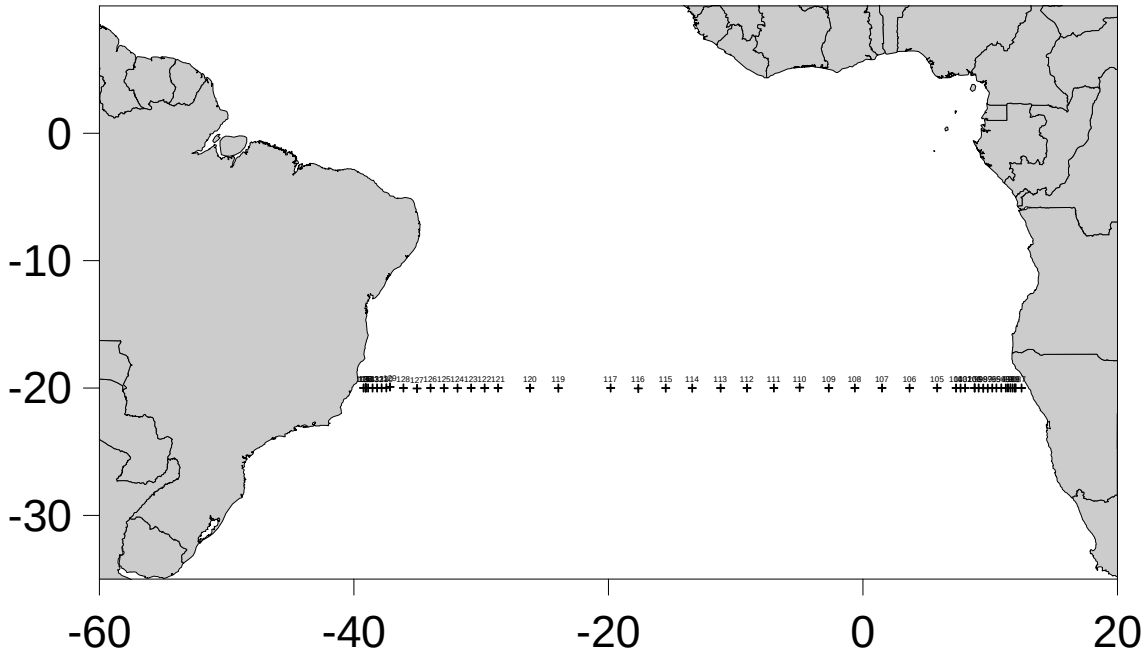

Figura 7. Localização das estações do Programa TA-I, dezembro de 2009.

Tabela 2. Coordenadas das estações (latitudes e longitudes em graus) realizadas pelo projeto TA-I (estação marcada com * apresentou problemas técnicos na operação do CTD).

#Estação	Latitude	Longitude
#87	-19,9997	12,4632
#88	-19,9972	12,0018
#89	-19,9975	11,9248
#90	-19,9980	11,7578
#91*	-19,9930	11,5808
#92	-19,9907	11,3952
#93	-20,0002	11,2253
#94	-19,9998	10,8707
#95	-19,9977	10,4838
#96	-20,0007	10,1618
#97	-20,0143	9,8055
#98	-20,0125	9,4525
#99	-20,0005	9,0932
#100	-19,9942	8,7767
#101	-19,9942	8,7767
#102	-20,0005	8,0297
#103	-20,0077	7,6693
#104	-20,0008	7,3173
#105	-19,9933	5,8305
#106	-19,9990	3,6613
#107	-19,9962	1,4992
#108	-19,9990	-0,6375
#109	-20,0005	-2,6837
#110	-19,9665	-4,9712
#111	-20,0008	-7,0010
#112	-20,0032	-9,1092

#Estação	Latitude	Longitude
#113	-20,0010	-11,1843
#114	-20,0058	-13,4143
#115	-20,0060	-15,4975
#116	-20,0295	-17,6552
#117	-19,9965	-19,8258
#118	-20,0032	-21,9435
#119	-20,0073	-23,9360
#120	-20,0042	-26,1653
#121	-20,0007	-28,6700
#122	-20,0010	-29,7255
#123	-19,9998	-30,7888
#124	-20,0062	-31,8580
#125	-20,0073	-32,9125
#126	-20,0000	-33,9753
#127	-20,0347	-35,0412
#128	-19,9978	-36,1088
#129	-19,9157	-37,1638
#130	-19,9873	-37,4520
#131	-19,9930	-37,8213
#132	-19,9995	-38,1763
#133	-19,9962	-38,5352
#134	-19,9993	-38,8850
#135	-19,9967	-39,2458
#136	-19,9942	-39,0602
#137	-19,9813	-39,0733
#138	-19,9938	-39,0866

4.3.1 Salinidade e Temperatura

Os dados de temperatura e salinidade foram obtidos utilizando-se um CTD 9 plus, N/S 0899v que foi acoplado a rosette Seabird®. Os dados foram tratados e tabelados, e posteriormente cedidos pelo Centro de Hidrografia da Marinha (CHM). A partir desses dados foram calculados os valores de densidade, utilizando uma rotina com o programa MATLAB, elaborada pelo professor Joseph Harari do Instituto Oceanográfico da USP.

4.3.2 Oxigênio dissolvido (OD)

As amostras de oxigênio dissolvido foram coletadas diretamente das garrafas hidrográficas tipo Niskin, acopladas na rosette, sendo as primeiras alíquotas de água a serem coletadas. Para evitar a formação de bolhas, utilizou-se um redutor de fluxo de água e, as alíquotas foram armazenadas em frascos calibrados com volume conhecido e com tampas mergulhadoras que permitem a titulação no próprio frasco. Logo após a coleta foram adicionados 1 mL de cada um dos dois reagentes fixadores, a saber: uma solução de cloreto de manganês II e outra de iodeto de potássio alcalino. A temperatura de cada amostra foi registrada para os cálculos posteriores de equivalência em $\mu mol\ kg^{-1}$. As amostras foram acondicionadas em ambiente escuro até o momento da análise por meio de determinação potenciométrica com utilização de titulador automático Titrando® 836 com Touch Control, da marca Metrohm. Este equipamento realiza a titulação com reconhecimento automático do ponto de equivalência ou com a pré-seleção de pontos finais da titulação quando conhecidos. A determinação do oxigénio dissolvido (OD), foi realizada entre 3 e 8 horas após a coleta, utilizando o método de Winkler (1888 apud GRASSHOFF, 1983). Este método apresenta precisão de ± 0,02 $cm^3.dm^{-3}$ para teores de 2 $cm^3.dm^{-3}$ e ± 0,04 $cm^3.dm^{-3}$ para teores superiores.

4.3.3 Nutrientes

As amostras de água para análise de nutrientes principais (fosfato, silicato, nitrito e nitrato) foram coletadas diretamente das garrafas tipo Niskin, em frascos de polietileno de alta densidade com volume de 250 ml, ambientados com a própria amostra, e foram armazenados em freezer a -20°C, para posterior análise no Laboratório de Nutrientes e Elementos Traço, localizado no Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (LABNUT-IOUSP).

As concentrações de silicato e fosfato dissolvidos foram determinadas seguindo o método colorimétrico descrito por Grasshoff et al. (1983). As leituras de absorbância foram realizadas em um espectrofotômetro Genesys2, da marca Bausch&Lomb. Para o silicato foram utilizadas cubetas de 1 cm de trajeto óptico, no comprimento de onda de 810 nm. A leitura do fosfato foi realizada utilizando cubetas de 5 cm de trajeto óptico, no comprimento de onda de 880 nm. O método apresenta precisão de ± 0,01µmol L^{-1} para o fosfato e ±0,1 µmol L^{-1} para o silicato.

A concentrações de nitrito e nitrato foram determinadas pelo método colorimétrico, em um processo automático em fluxo contínuo com arraste por bolhas, utilizando o *AutoAnalyzer II* (*Bran-Luebbe*®), seguindo as recomendações de Grasshoff et al.(1999), Tréguer e Le Corre (1975) e Braga (1997a, 1997b). Para determinar a concentração do nitrato foi necessário realizar uma redução para nitrito, utilizando uma coluna de cádmio cuperizado, descrito em Wood et al. (1967). O valor da concentração de nitrato foi obtido subtraindo o valor do nitrito inicial do valor do nitrito total (nitrito + nitrato reduzido). A precisão do método é de ± 0,01 µM para nitrito, e de ± 0,02 µM para nitrato.

4.4 Tratamento de dados

Foram aplicados os mesmos métodos de tabulação e análise estatística nos dados dos Programas WOCE e TAI. Os dados foram tabulados utilizando o Programa Excell 2007 e as análises estatísticas, mapas e interpolações foram desenvolvidas com o auxílio do Programa Surfer 9.2®.

Com o objetivo de proceder a uma melhor comparação entre os dados dos dois Programas, foi necessário que os dados estivessem tratados de forma a se encontrarem nas mesmas unidades. Para isso, o conjunto de dados do Programa TA–I teve que passar por uma conversão de unidade dos parâmetros oxigênio dissolvido, silicato, fosfato e nitrato, de µmol. L^{-1} para µmol kg^{-1}, unidade em que se encontravam os dados do Programa WOCE, adequada para trabalhos oceânicos.

O Programa WOCE, em seu material disponibilizado eletronicamente, apresentou gráficos de isolinhas, utilizando como método de interpolação o IDW (*Inverse Distance Weighting*) com alterações, modificações essas que não estavam disponíveis de forma acessível. Para realizar o trabalho de comparação, optou-se por produzir os gráficos do Programa TA-I, utilizando o método de interpolação IDW, disponível no programa SURFER®, e utilizando a tabela de dados do Programa WOCE, reproduzir os gráficos com o mesmo método. Dessa forma os dados dos dois Programas se tornaram compatíveis para a realização de estudos de busca de variações espaciais e temporais na distribuição dos dados.

O método IDW, também conhecido como Inverso da Potência da Distância, utiliza a média ponderada dos pontos de valores conhecidos em uma malha (nós), para determinar os valores em pontos não conhecidos (KECKLER, 1995). O método considera que os dados que são mais próximos uns do outros são mais parecidos do que aqueles mais distantes. Para prever o valor de um ponto não conhecido, o método se utiliza de valores conhecidos que sejam vizinhos do ponto a ser previsto. Com isso valores conhecidos que estejam mais próximos do valor a ser previsto, tem maior influência na previsão do que os pontos mais distantes, e essa influência local diminui à medida que a distância do ponto conhecido aumenta. As equações que descrevem o método são:

$$\check{Z}_j = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{Z_i}{h_{ij}^{\beta}}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{h_{ij}^{\beta}}} \qquad \text{(equação 1)}$$

$$h_{ij} = \sqrt{d_{ij}^2 + \delta^2} \quad \text{(equação 2)}$$

Onde:

hij : distância efetiva de separação entre o ponto i e o ponto j mais próximo da malha;

Žj : valor interpolado para o ponto j da malha;

Zi : valor do ponto mais próximo;

dij : distância entre o ponto i e o ponto j mais próximo;

β : potência ponderada (parâmetro da potência);

δ : parâmetro de suavização (no presente estudo, δ = 0).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Estudo da distribuição dos parâmetros hidrológicos e hidroquímicos na Seção A9 considerando a lacuna temporal entre as campanhas dos Programas WHP – WOCE (1991) e TA-I (2009)

5.1.1 Climatologia

O Programa TA-I foi realizado em um período no qual a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) oscilou em torno de 5ºN, latitude na qual se encontra climatologicamente neste período do ano, ou seja, dezembro, final da primavera. Próximo à costa da África, a ZCIT posicionou-se, preferencialmente, ao norte de sua posição climatológica anterior. Nas imagens médias de temperatura de brilho mínimo, notou-se a banda de nebulosidade associada à ZCIT atuando em conjunto com a formação de vórtices ciclônicos em altos níveis, em particular durante as pêntadas 1ª, 2ª, 3ª e 4ª de dezembro. Notou-se, também, que a maior atividade convectiva associada à ZCIT ocorreu próximo à costa da África, especialmente durante a 5ª pêntada. Os dados de ZCIT para o Programa WOCE não foram encontrados para o período amostrado.

No biênio de 2009-2010, período no qual se realizou o Programa TA-I foi documentada a ocorrência de um evento de El Niño fraco. No período de realização do Programa WOCE, foi verificado a ocorrência de evento de El Niño forte. A ocorrência do evento El Niño acarreta em aumento anormal das temperaturas superficiais no Oceano Pacífico Tropical, que afeta o clima regional e global, mudando padrões de vento e afetando regimes de chuvas em regiões tropicais e de latitudes médias.

Considerações iniciais

Levando-se em conta as datas de amostragem dos dois Programas em estudo, deve-se registrar que há diferença no período amostral, ou seja, as coletas realizadas no Programa TA-I que ocorreram de 1 a 20 de dezembro de 2009, coincidindo praticamente com o final do período de primavera austral, o que deve ter reflexo nas observações das águas superficiais, enquanto as amostragens WHP-WOCE (entre 10 de fevereiro e 23 de março de 1991) ocorreram no final do verão austral.

No aspecto espacial, duas diferenças relevantes devem ser consideradas: *i)* os limites extremos da área coberta pelos dois Programas e a sobreposição dos pontos de amostragem (Fig. 8). *ii*) a densidade da malha amostral e a quantidade de profundidades amostradas ((Fig. 9). Assim, o Programa WOCE 1991, tem uma seção mais curta, a qual se inicia em 37°25,40 W, atingindo 8°4,50 E, e apresenta maior densidade de pontos e profundidades amostradas. Desta forma, distinguiu-se do conjunto de dados do Programa TA-I 2009, que abrangeu a área entre 39°51,93 W e 12°27,79 E, com estações e profundidades mais esparsas.

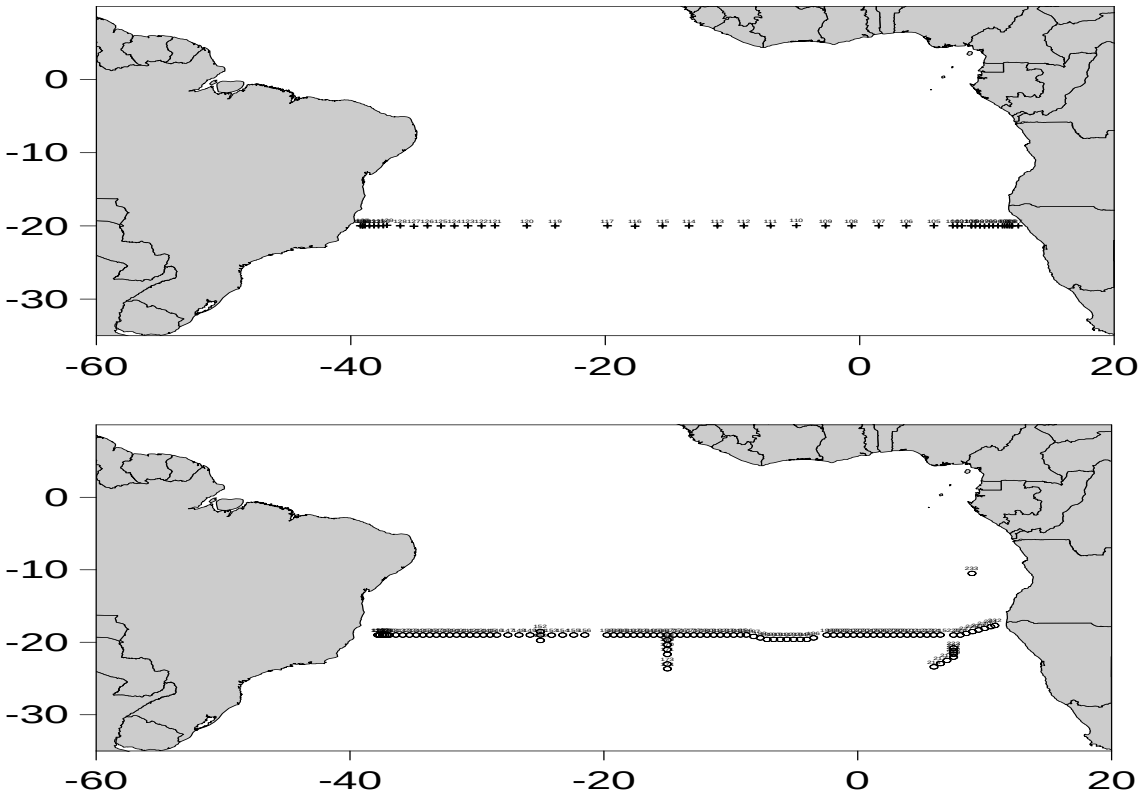

Figura 8. Localização das estações: acima Programa TA-I (2009) e abaixo Programa WOCE (1991).

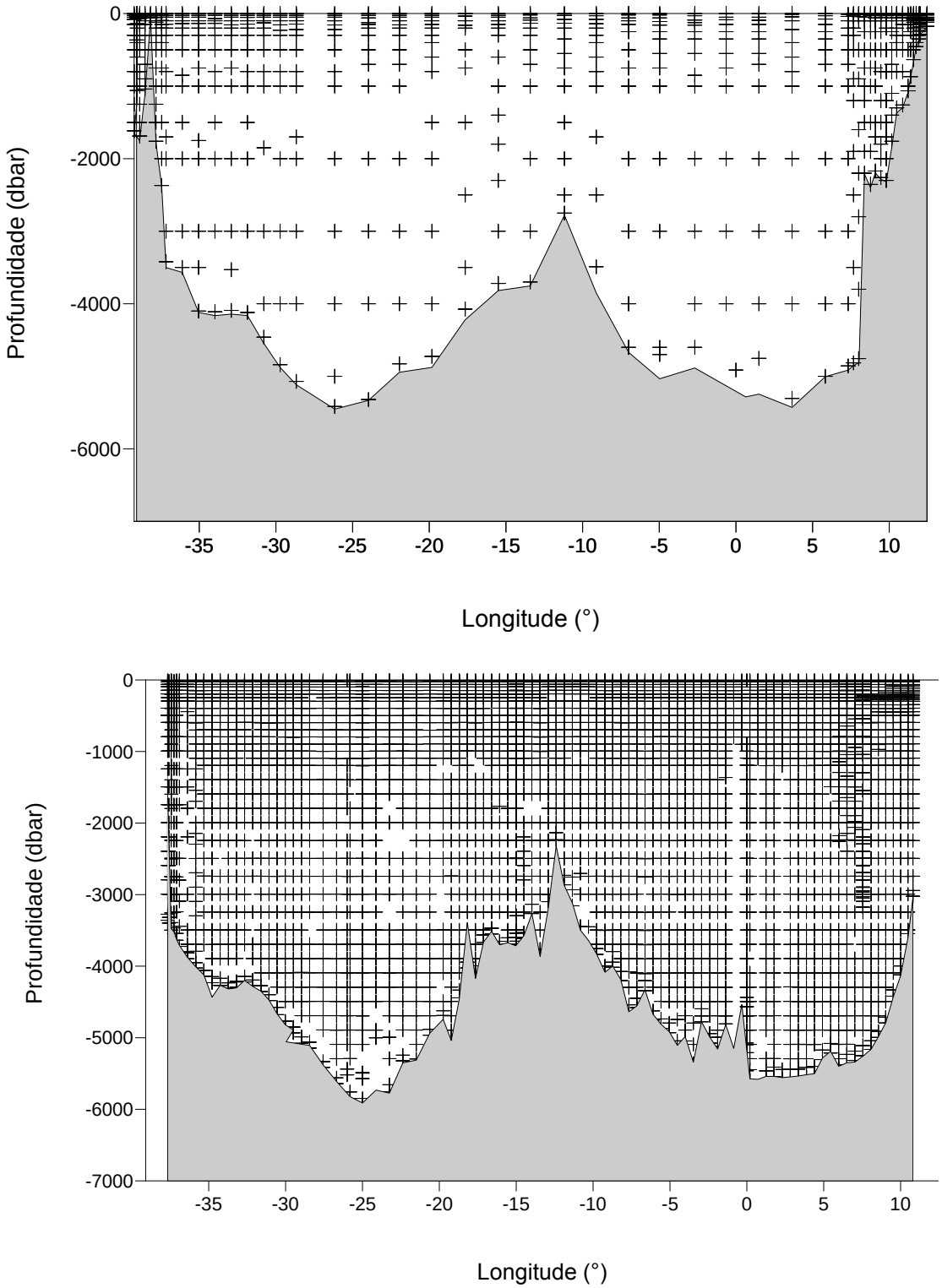

Figura 9. Malha de profundidades amostradas: acima no Programa TA-I (2009) e abaixo no Programa WOCE (1991).

5.1.2 Temperatura e salinidade

As distribuições dos dados de temperatura em isolinhas referentes aos Programas TA-I e WOCE estão apresentadas na figura 10 enquanto as distribuições de salinidade encontram-se na figura 11.

Os dados obtidos durante o Programa TA-I apresentaram valores máximos de temperatura que variaram de 28,04°C na região oeste a 26,11°C na região central sob a Cordilheira Meso-Atlântica e atingiram 19,18°C na região leste, nas águas superficiais, muitas vezes atingindo aproximadamente 200 dbar de profundidade mostrando um maior aquecimento na Bacia Oeste e a influência da ressurgência na Bacia Leste. Observando os dados apresentados no Programa WOCE para a mesma seção, notam-se valores de 28,11°C, 25,53°C e 22,40°C respectivamente, para a mesma camada superficial e regiões citadas anteriormente, também mostrando águas mais frias na região leste, na área de ressurgência. De um modo geral, foram observadas diferenças no aquecimento da camada mais superficial que podem ser atribuídas ao posicionamento sazonal das amostragens, ou seja, o TA-I no final da primavera e o WOCE, no final do verão. Além disso, pode ter ocorrido influência de diferenças climáticas interanuais. Os valores de salinidade encontrados nas camadas mais superficiais, até 200 dbar nos dados do Programa TA-I ficaram acima de 37,00 na região oeste e central, e entre 35,00 e 36,00 na região leste No Programa WOCE, os valores ficaram entre 36,00 e 37,00 na região oeste, entre 35,00 e 37,00 na região central e entre 35,00 e 36,00 para a região leste. Os valores encontrados nos dois parâmetros caracterizam a Água Tropical de Superfície (ATS) com combinações T-S com T >20°C e S > 36 (EMILSSON, 1961), que apresentou uma camada mais espessa na região oeste e na região central nos dois Programas, chegando a até 200 dbar. Já na região leste, devido às diferenças nos limites dos transectos, foi possível observar, no Programa TA-I, a presença de águas com características da Água Central do Atlântico Sul (ACAS), com T variando de 6,00°C a 20,00°C e S de 34,6 a 36 (SILVEIRA et al., 2000) ou T variando de 5,00°C a 18,00°C e S variando de 34,3 a 35,8 (EMERY, 2003) nas águas até aproximadamente 600 dbar.

Entre 200 e 500 dbar, o Programa TA-I registrou valores entre 9,00°C a 19,00°C na Bacia Oeste, de 8,00°C a 18,00°C na região central e de 6,00°C a 12,00°C na região leste. Os valores encontrados pelo WOCE foram de 8,00°C a 18,00°C para a Bacia Oeste, de 8,00°C a 17,00°C na região central e de 7,00°C a 12,00°C para a Bacia Leste, mais uma vez destacando águas mais um pouco mais frias na costa africana, como sinal do processo de ressurgência da região. Os valores de salinidade no Programa TA-I variaram 34,70 a 36,20 na Bacia Oeste, de 34,50 a 35,80 na região central e de 34,50 a 35,10 para a Bacia Leste. No programa WOCE os valores foram de 34,70 a 36,50 na bacia oeste, de 34,60 a 35,50 na região central e entre 34,50 a 35,20 na bacia leste. Essas combinações T-S caracterizam a ACAS, como já foi mencionado anteriormente, e sua maior intrusão na região da costa africana em relação à costa oeste.

Na camada entre 500 e 1000 dbar foram encontradas águas mais frias e menos salinas com valores de temperatura e salinidade, no Programa TA-I variando de 4,00°C a 9,00°C e de 34,40 a 34,50 na Bacia Oeste. Na região central a variação de T foi de 3,50°C a 7,50°C e de salinidade entre 34,50 a 34,60, enquanto na Bacia Lesta as temperaturas variaram entre 4,00°C a 6,00°C e a salinidade entre 34,40 e 34,50. No Programa WOCE, os valores de T ficaram entre 4,00°C e 9,00°C na Bacia Oeste, de 4,00°C a 8,40°C na região central e de 4,00°C a 7,30°C na Bacia Leste, e para salinidade, na bacia oeste entre 34,50 a 34,70, e nas regiões central e leste, a salinidade variou entre 34,50 e 34,60. Segundo o proposto por Sverdrup, Johnson e Fleming (1942), essas combinações indicam a presença da Água Intermediária Antártica (AIA), T-S 3°C – 6°C e 34,2 – 34,6 e que aparece de forma mais uniforme nas três regiões, entre 500 e 1000 dbar.

A Água Profunda do Atlântico Norte (APAN), um pouco mais fria que a AIA, porém mais salina com características T-S 3°C - 4°C e 34,6 -35 (REID, 1989), e que surge aproximadamente entre 1500 e 3000 dbar, pode ser observada nas três regiões da área de estudo, entre 1000 e 2000 dbar. As temperaturas no Programa TA-I variaram de aproximadamente 3,00°C a 3,60°C na região oeste, na região central de 2,60°C a 4,00°C e de 3,00°C a 4,00°C na Bacia Leste. Já no Programa WOCE, de 3,30°C a 4,00°C na região oeste, de 3,10°C a 3,90°C na região central e de 3,20°C a 4,00°C na região leste. A salinidade apresentou os seguintes valores no TA-I, de 34,48 a 34,95 para a Bacia Oeste, de 34,50 a 34,90 para as regiões central e leste. No Programa WOCE, os valores ficaram entre 34,40 e 34,90 nas três regiões.

A camada mais profunda, abaixo de 2000 dbar, apresentou as águas mais frias, abaixo de 3,00°C na Bacia Oeste, de 0,62°C a 3,13°C na região central e de 1,95°C a 3,20°C na Bacia Leste, no Programa TA-I. No Programa WOCE, as temperaturas se apresentaram abaixo de 3,20°C na bacia leste e central e abaixo de 3,40°C na bacia oeste. E os valores encontrados para salinidade, abaixo de 34,90 nos dois Programas nas três regiões, caracterizando a Água de Fundo Antártica (AFA), de T-S < 2°C e S <34,8 (EMERY, 2003).

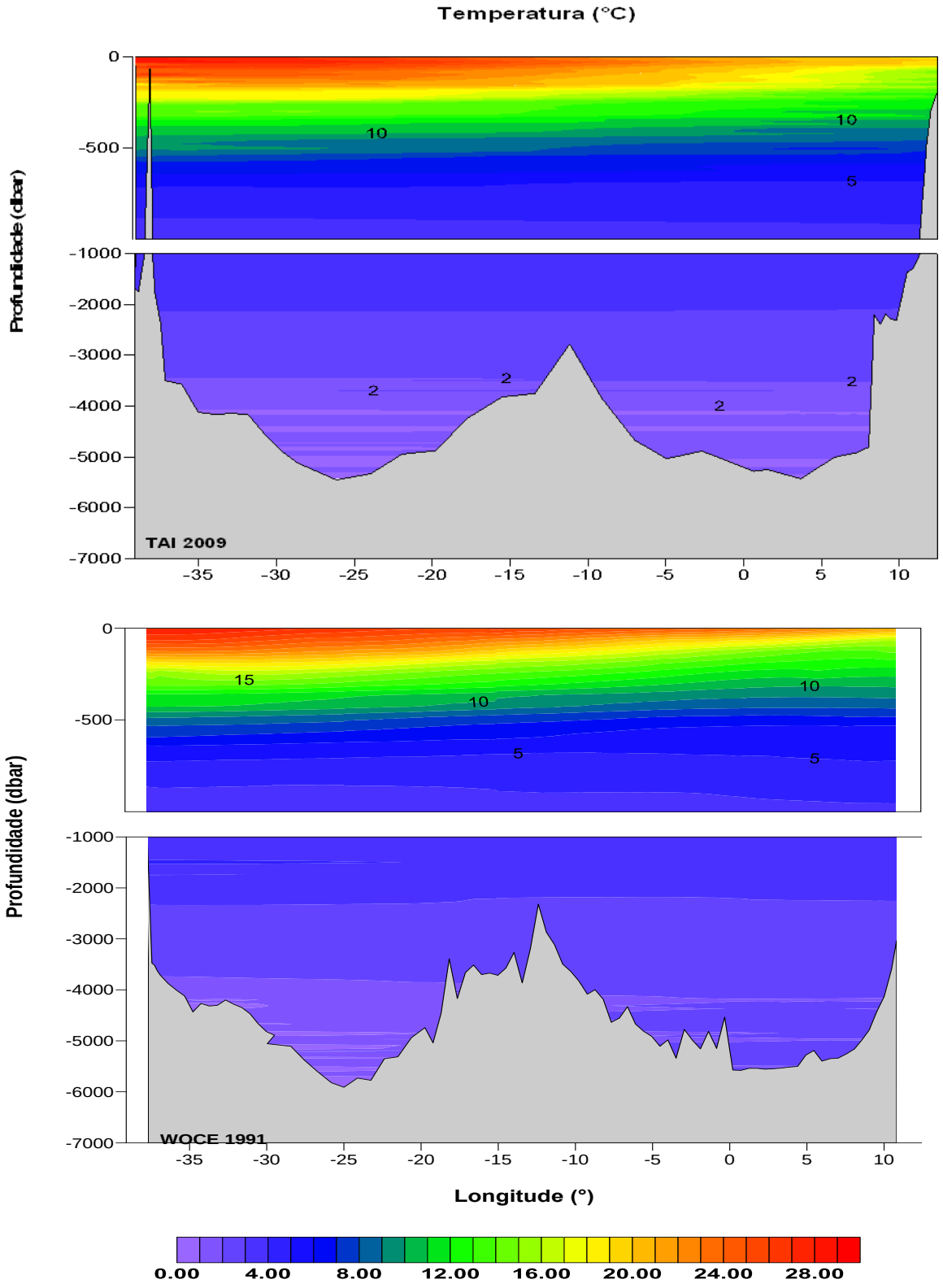

Figura 10. Distribuição da temperatura em isolinhas nos Programas TA-I 2009 (acima) e WOCE 1991 (abaixo)

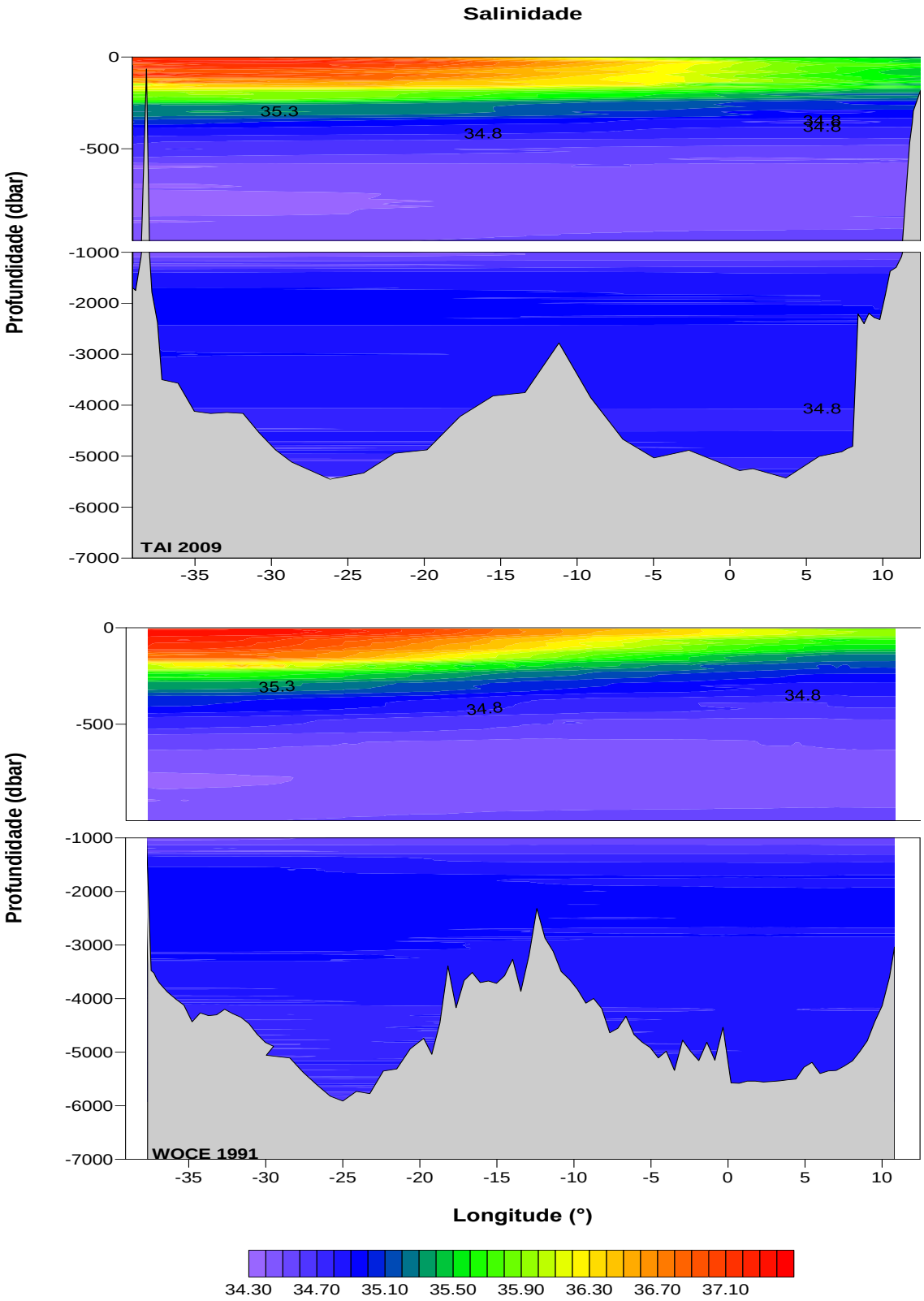

Figura 11. Distribuição de salinidade em isolinhas nos Programas, TA-I 2009 (acima) e WOCE 1991 (abaixo).

A partir desses conjuntos de dados foram gerados diagramas T-S para os dois Programas (Fig. 12) incluindo suas isopicnais, para uma melhor identificação das massas d'água presentes na região. Os diagramas apresentaram padrões semelhantes para os dois Programas. Entretanto, no Programa TA-I, que amostrou regiões mais próximas aos continentes, foi possível observar uma concentração de pontos acima da isopicnal 26, que correspondem às estações mais próximas da costa africana, de profundidades mais rasas (até150 dbar). Isso pode ser uma evidência da intrusão de uma água com características típicas da ACAS na plataforma da costa africana, devido ao processo de ressurgência característico da região (BAILEY; CHAPMAN, 1991).

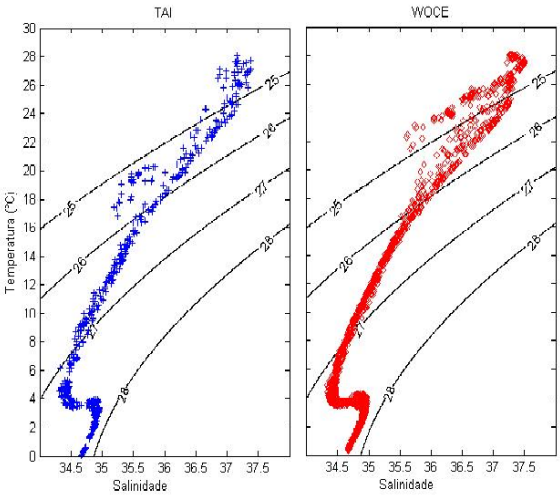

Figura 12. Diagramas T-S, referentes às combinações globais de temperatura e salinidade obtidos nos Programas TA-I (2009) à esquerda, em azul e WOCE (1991) à direita, em vermelho.

De um modo geral, os parâmetros hidrológicos, temperatura e salinidade, nos dois Programas, apresentaram dados que possibilitaram identificar as massas d'água presentes na região de estudo, e apresentaram apenas algumas diferenças nas distribuições, relativas às variabilidades sazonais, interanuais e da área de abrangência espacial entre os Programas.

5.1.3 Oxigênio Dissolvido (OD)

A distribuição vertical em isolinhas ao longo do transecto A9 pode ser observada na figura 13 considerando os dados dos Programas TA-I e WOCE.

Os valores de oxigênio dissolvido encontrados nos dois Programas mostraram de um modo geral, um padrão semelhante de distribuição, com concentrações mais elevadas (180-250 µmol kg^{-1}) junto às águas de superfície. Isto ocorre devido à proximidade com a interface ar-mar que facilita as trocas gasosas e pela contribuição da fotossíntese na camada eufótica. Também foram observados valores altos nas águas de fundo devido à sua área de origem e a contenção de gases nas águas mais frias e profundas. A Bacia Leste apresentou concentrações mais baixas, menores que 100 µmol kg^{-1}, caracterizando uma camada de mínimo de oxigênio associada ao processo de afundamento da matéria orgânica produzida intensamente na zona de ressurgência, devido à maior disponibilidade de nutrientes, favorecendo a produção primária. O afundamento da matéria orgânica é acompanhado do processo de degradação que consome oxigênio contribuindo à formação da camada de mínimo de OD.

Na camada superficial, os valores de oxigênio dissolvido variaram entre 197 e 215 µmol kg^{-1}, na região oeste e região central de 137 a 230 µmol kg^{-1}, da superfície até aproximadamente 150 dbar. Entre 150 e 250 dbar, as concentrações variaram de 151 a 202 µmol kg^{-1} na região oeste, e na região central de 126 a 202 µmol kg^{-1} nos dois Programas, indicando uma zona de baixo oxigênio no limite inferior da ACAS, resultante talvez de uma fraca renovação nessa região (STRAMMA; SCHOTT, 1999). Na porção leste, a camada superficial se apresentou mais oxigenada (122 – 246 µmol kg^{-1}) e alcançou profundidades menores, entre 0 a 200 dbar, possivelmente resultado da intensa produtividade primária em uma região de ressurgência.

Na camada entre 500 e 1000 dbar, na região oeste e central as concentrações voltam a aumentar (193 a 202 µmol kg^{-1}), caracterizando a presença da Água Intermediária Antártica (AIA). Na região leste foram observados valores menores, caracterizando a camada de mínimo de oxigênio, com concentrações mais elevadas no Programa WOCE (117 - 180 µmol kg^{-1}) do que no Programa TA-I (34– 170 µmol kg^{-1}),

cujo transecto se aproximou mais da costa africana, evidenciando mais o processo de ressurgência da região.

Entre 1500 e 3000 dbar para as bacias oeste e central, foi possível identificar uma água com maiores concentrações de oxigênio (190 a 253 µmol kg^{-1}) e salinidade, indicando a presença da Água Profunda do Atlântico Norte (VANICEK; SIEDLER, 2001) se comparada com a faixa imediatamente acima, a Água Intermediária Antártica. A região leste apresentou valores entre 199 e 265 µmol kg^{-1} no Programa TA-I, e no Programa WOCE, valores entre 215 e 234 µmol kg^{-1}.

Na camada mais profunda e próxima ao assoalho marinho, as concentrações de oxigênio variaram entre 226 e 253 µmol kg^{-1} no Programa WOCE e entre 215 e 245 µmol kg^{-1} no Programa TA-I nas regiões oeste e central, e de 233 - 234 µmol kg^{-1} no Programa WOCE, e entre 180 e 230 no Programa TA-I na região leste, valores que podem caracterizar a Água de Fundo Antártica com mostrado por Andrié et al. (2003).

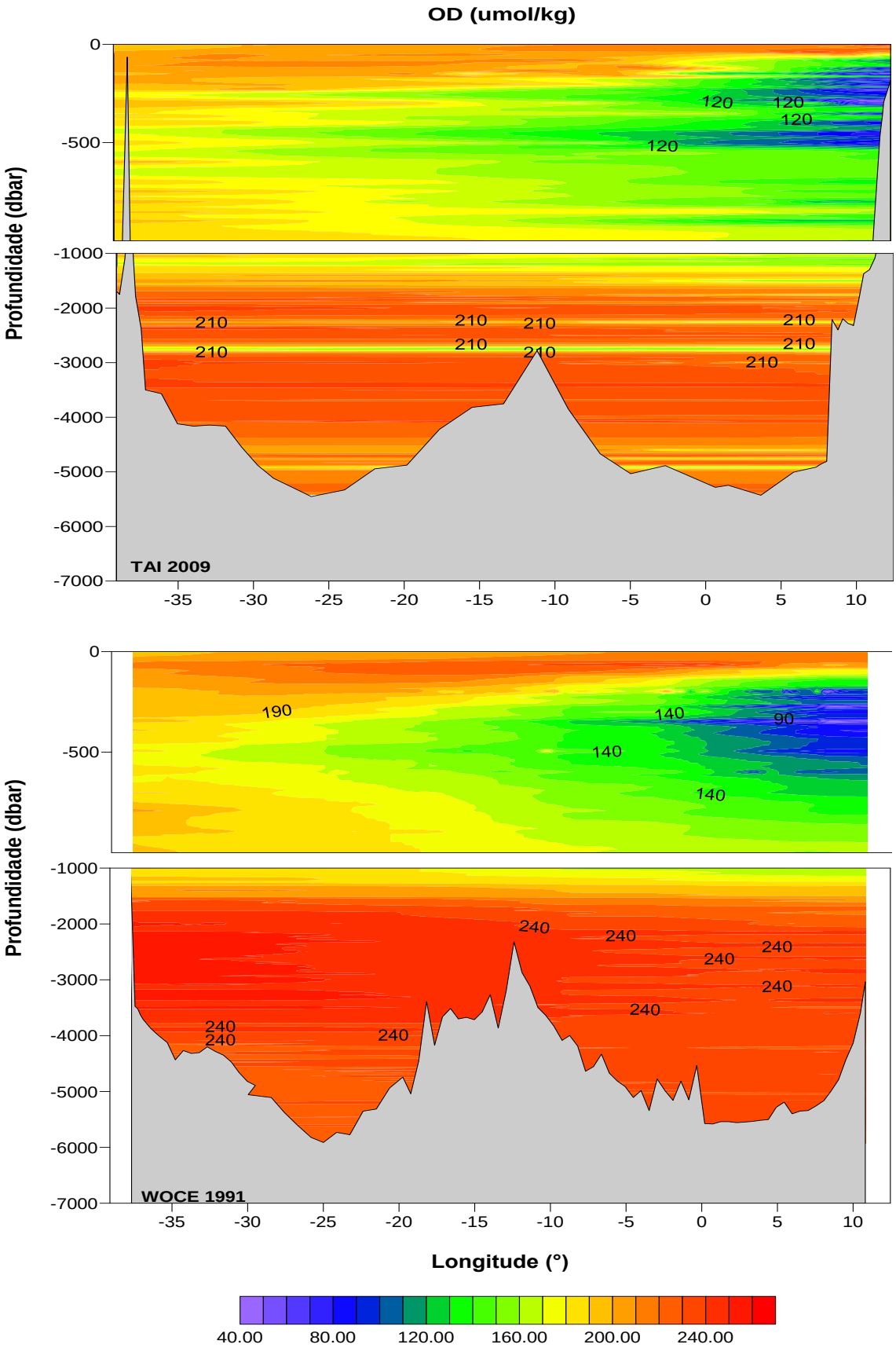

Figura 13. Distribuição das concentrações de oxigênio dissolvido em isolinhas nos programas TA-I 2009 (acima) e WOCE 1991 (abaixo).

Em suma, a distribuição de oxigênio dissolvido foi semelhante nos dois Programas, as águas superficiais mais oxigenadas, com algumas diferenças devido aos períodos amostrais. Abaixo da camada eufótica, uma água com menores concentrações, a camada de mínimo de oxigênio foi observada de forma mais acentuada na região leste, corroborando o processo de ressurgência da costa oeste africana. As águas mais profundas apresentaram concentrações mais elevadas originadas de seus processos de formação e da falta de troca com a interface ar-mar, possibilitando que o oxigênio dissolvido seja utilizado como traçador de massas d'água como a APAN e a AFA.

5.1.4 Silicato

As concentrações de silicato dissolvido encontradas nos dois Programas revelam uma camada superficial exaurida de nutrientes, inversamente proporcional à concentração do oxigênio dissolvido, decorrente da produção primária na zona eufótica (Fig.15). Porém essa camada mais pobre em nutrientes se apresentou mais profunda nas porções oeste e central da seção estudada. Na porção leste, o comportamento da variação dos valores de silicato das camadas mais superficiais acompanhou a possível subida da Água Central do Atlântico Sul, devido ao processo de ressurgência local (Fig.14). Na Bacia Oeste, na camada superficial até 100 dbar, os dois Programas apresentaram uma faixa de variação semelhante, entre 0,01 e 1,40 µmol kg^{-1}. Entre 100 e 400 dbar, o Programa TA-I mostrou valores entre 0,70 e 4,00 µmol kg^{-1}. Nesta mesma profundidade, o Programa WOCE apresentou valores de silicato entre 0,50 e 7,00 µmol kg^{-1}, ou seja, com um limite superior maior. A camada entre 500 e 1000 dbar apresentou-se como uma concentração mais rica, característica da AIA, com valores de 4,00 até 35,00 µmol kg^{-1} no Programa TA-I e, de 10,00 até 43,00 µmol kg^{-1} no Programa WOCE. Com o aumento da profundidade, os valores de silicato apresentaram uma tendência de diminuição entre 1200 e 2000 dbar, indicando a presença da APAN, uma água mais pobre em silicato em comparação com as águas adjacentes devido à origem no Mar da Noruega, mar de Labrador e Mediterrâneo (MANN; COOTE; GARNER, 1973). Os valores nesta faixa de profundidade referentes ao Programa TA-I variaram de 10,00 a 24,00 µmol kg^{-1} e, no Programa WOCE, de 18,00 a 34,00 µmol kg^{-1}. Na camada mais profunda, abaixo de 2500 dbar, o Programa TA-I apresentou seus valores mais elevados nos três setores do transecto, entre 20,00 e 80,00 µmol kg^{-1}, enquanto no Programa WOCE, os valores estiveram entre 35,00 e 123,00 µmol kg^{-1}, apresentando a água mais rica em silicato. Isto caracterizou a presença da AFA (BOSWELL et al., 2002), que percorre o Oceano Atlântico em direção ao norte, preferencialmente a oeste da Cordilheira Meso-Atlântica (ANDRIÉ et al, 2003).

Na região central do transecto, a distribuição seguiu o mesmo comportamento da Bacia Oeste, apresentando valores um pouco menores nos dois Programas. A camada superficial apresentou valores entre 0,80 e 1,10 µmol kg^{-1} no Programa TA-I e, entre

0,10 e 1,00 µmol kg^{-1} no Programa WOCE. Na profundidade entre 100 e 300 dbar, os valores estiveram entre 1,20 e 4,00 µmol kg^{-1} no TA-I e entre 0,70 e 7,00 µmol kg^{-1} no WOCE. As águas mais enriquecidas foram observadas entre 500 e 1000 dbar como corroborado por Oudot *et al.* (1999) apresentado concentrações entre 10,00 e 22,00 µmol kg^{-1} no TA-I e, entre 13,00 e 42,00 µmol kg^{-1} no WOCE, valores elevados que indicam a presença da AIA. As concentrações tornaram a diminuir entre 1200 e 2500 dbar, chegando a 18,00 µmol kg^{-1} no TA-I e 23,00 µmol kg^{-1} no WOCE (Fig.16). A camada de água mais profunda apresentou os valores mais elevados da coluna d'água e chegou a 60,00 µmol kg^{-1} no TA-I e, a 120,00 µmol kg^{-1} no WOCE, esses altos valores eram esperados, pois os máximos de silicatos caracterizam a AFA, formada em uma região com águas bastante enriquecidas em nutrientes, além do *falling* da dissolução das frústulas das diatomáceas ser uma fonte contínua de silicato para as águas profundas.

Na região leste, a camada mais superficial apresentou valores de silicato mais elevados neste nível de profundidade, entre 1,40 e 5,50 µmol kg^{-1} no Programa TA-I e, entre 0,00 e 2,00 µmol kg^{-1} no Programa WOCE. Na camada entre 250 e 350 dbar, o Programa TA-I encontrou valores entre 1,50 e 6,50 µmol kg^{-1} e, entre 1,10 e 9,00 µmol kg^{-1} no WOCE. A camada abaixo desta, de 400 a 1000 dbar, apresentou uma elevação nos valores com concentrações de 15,00 a 27,00 µmol kg^{-1} no TA-I e de 8,00 a 40,00 µmol kg^{-1} no WOCE. O aumento da concentração de silicato nesta região indica o processo de ressurgência costeira da região leste (Fig.16). As águas entre 1200 e 2000 dbar voltaram a mostrar uma diminuição na concentração de silicato, com valores entre 13,00 e 20,00 µmol kg^{-1} no TA-I, e entre 29,00 e 38,00 µmol kg^{-1} no WOCE. A água mais profunda, novamente apresentou os valores máximos de silicato, entre 23,00 e 38,00 µmol kg^{-1} no TA-I e, entre 32,00 e 52,00 µmol kg^{-1} no WOCE, porém menores do que os observados nas regiões oeste e central, indicando um padrão diferenciado na circulação das águas profundas no Oceano Atlântico.

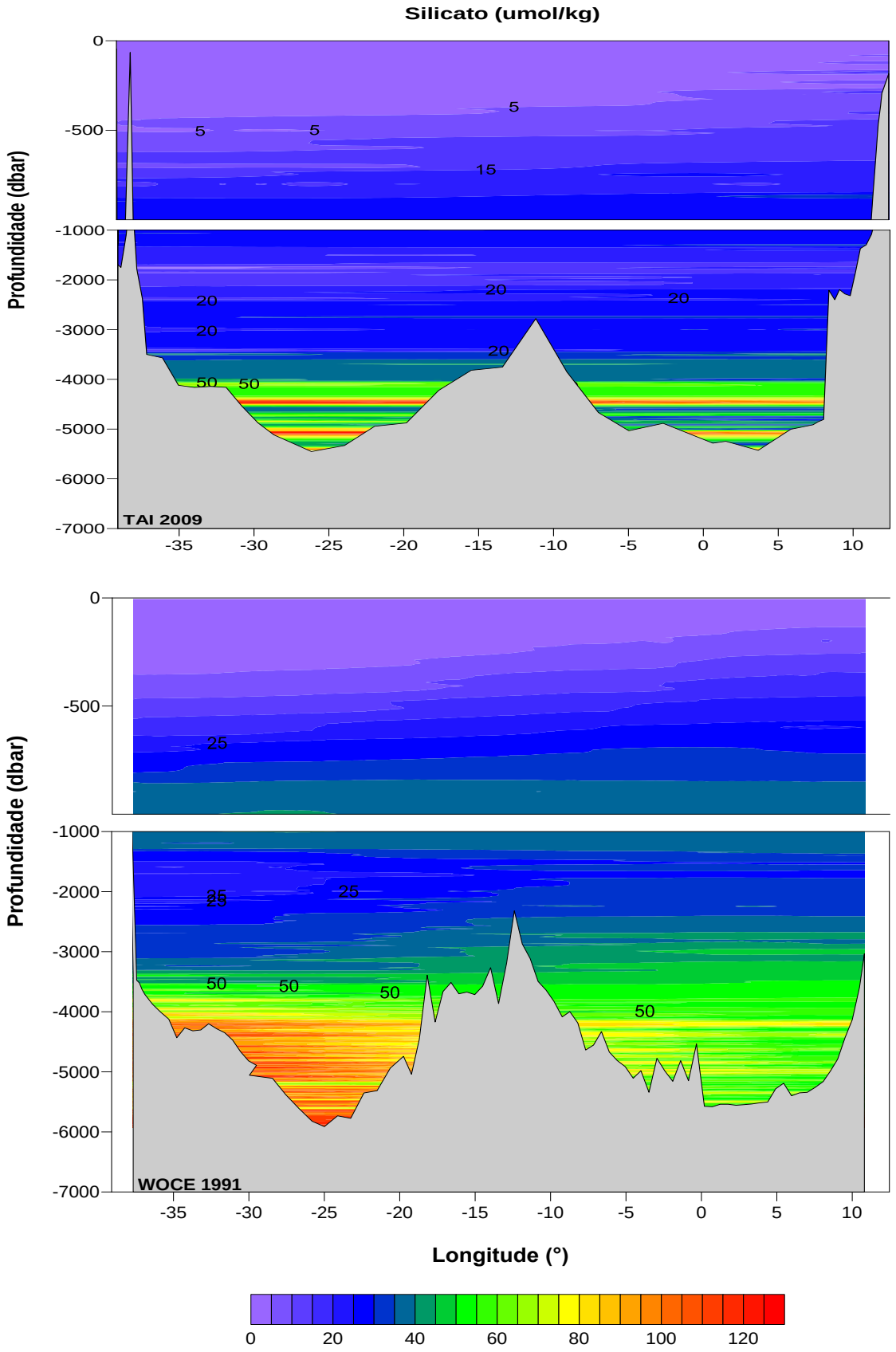

Figura 14. Distribuição das concentrações de silicato dissolvido em isolinhas nos Programas TA-I 2009 (acima) e WOCE 1991 (abaixo).

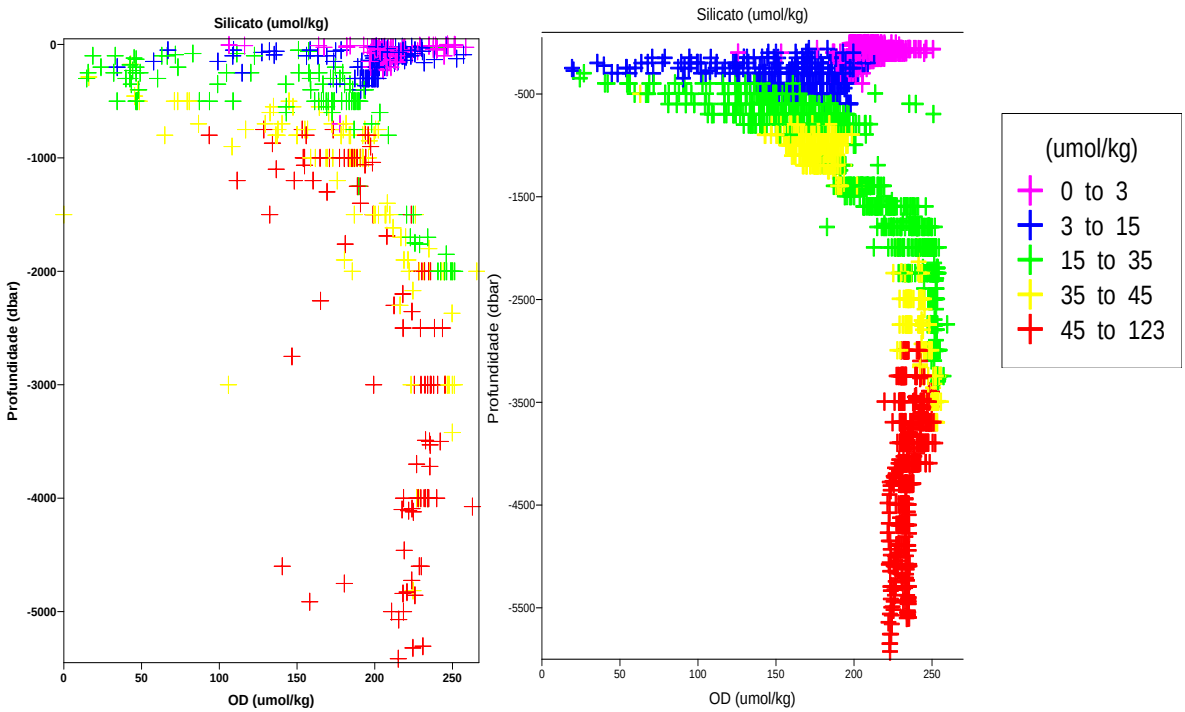

Figura 15. Concentração de silicato dissolvido (em escala de cor) para cada combinação de dispersão dos valores globais de oxigênio dissolvido (eixo x) e profundidade (eixo y) nos Programas TA-I 2009 (esquerda) e WOCE 1991(direita).

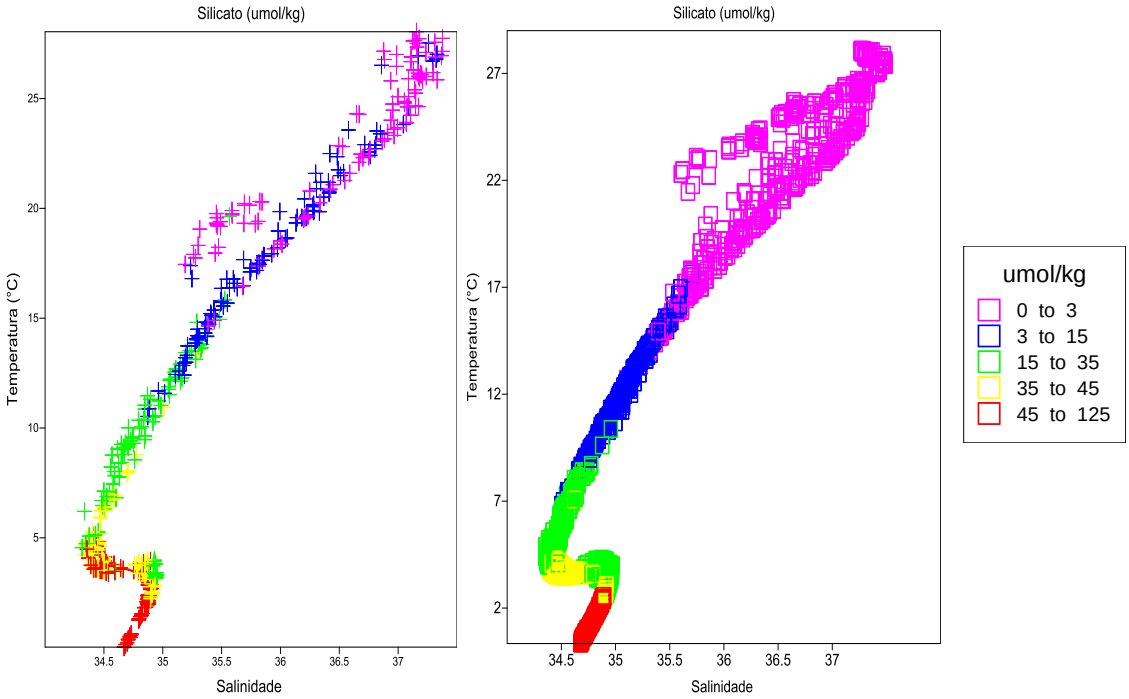

Figura 16. Concentração de silicato dissolvido (em escala de cor) para cada combinação da dispersão em diagrama T-S dos valores globais de temperaturas e salinidade nos Programas TA-I 2009 (esquerda) e WOCE 1991 (direita).

5.1.5 Fosfato

O fosfato apresentou uma distribuição bastante parecida com o observado para o silicato, menores concentrações na camada superficial devido aos processos da produção primária, acompanhadas de valores máximos de oxigênio dissolvido (Fig.18), e valores mais elevados na camada intermediária e de fundo (Fig.17).

Na seção estudada sobre as Bacias Oeste e Central, o comportamento do fosfato foi semelhante nos dois Programas. Nas camadas mais superficiais, até 100 dbar, os valores encontrados estiveram entre 0,01 e 0,39 µmol kg^{-1}, enquanto na camada correspondente a 100 e 300 dbar, o fosfato variou entre 0,18 e 1,30 µmol kg^{-1} no Programa TA-I e, entre 0,40 e 1,38 µmol kg^{-1} no Programa WOCE. Abaixo desta profundidade, observou-se uma camada mais rica em fosfato, entre 500 e 1000 dbar, com valores entre 1,31 e 1,81 µmol kg^{-1} no TA-I, e entre 1,39 e 2,28 µmol kg^{-1} no WOCE, caracterizando nessa profundidade a AIA, com águas mais frias e mais enriquecidas (OUDOT et al., 1999) (Fig.17).

Na porção entre 1200 e 2500 dbar, a concentração de fosfato apresentou um declínio, correspondendo às características da APAN (VANICEK; SIEDLER, 2001). Foram encontrados valores mínimos de 0,85 µmol kg^{-1} no TA-I, e de 1,20 µmol.kg^{-1} no WOCE. Na camada mais profunda, abaixo de 3000 dbar, os valores voltam a aumentar, indicando uma água mais profunda e fria, enriquecida de nutrientes, a AFA. No Programa TA-I, o fosfato variou entre 0,91 e 1,99 µmol kg^{-1}, enquanto no Programa WOCE, estiveram entre 1,22 e 2,34 µmol kg^{-1}.

No transecto sobre a Bacia Leste, devido aos aspectos diferenciados nos processos de circulação da região, a camada eufótica apresentou valores de fosfato um pouco mais elevados entre 0 e 100 dbar, variando de 0,30 a 0,56 µmol kg^{-1} no Programa TA-I e, de 0,26 a 0,84 µmol kg^{-1} no Programa WOCE. Na profundidade entre 100 e 250 dbar, os valores de fosfato encontraram-se entre 0,50 e 1,81 µmol kg^{-1} no TA-I e, entre 0,86 e 1,91 µmol kg^{-1} no WOCE. As águas mais ricas em fosfato correspondem à AIA, se encontraram numa camada entre 300 e 600 dbar, e apresentaram valores entre 1,55 e 2,10 µmol kg^{-1} no TA-I e, entre 1,36 e 2,60 µmol kg^{-1} no WOCE. Em direção ao fundo,

as concentrações voltaram a diminuir, indicando as águas da APAN (Fig.19), atingindo 0,82 µmol kg^{-1} no TA-I, e 1,43 µmol kg^{-1} no WOCE. A camada mais profunda não apresentou os valores máximos para fosfato, mas ainda assim, apresentaram valores altos que indicam uma água enriquecida. No Programa TA-I, as concentrações estiveram entre 0,73 e 1,30 µmol kg^{-1} e no WOCE, foram de 1,53 a 1,66 µmol kg^{-1}. Essas concentrações, ligeiramente inferiores, devem refletir o efeito da topografia da Bacia Leste. A bacia recebe as águas de fundo depois que essas atravessam a barreira da Cordilheira Walvis, o que deve acarretar em alteração das características originais do nutriente da AFA (MACGILL, 1964), mantendo-se as propriedades relativas de identificação da massa d'água.

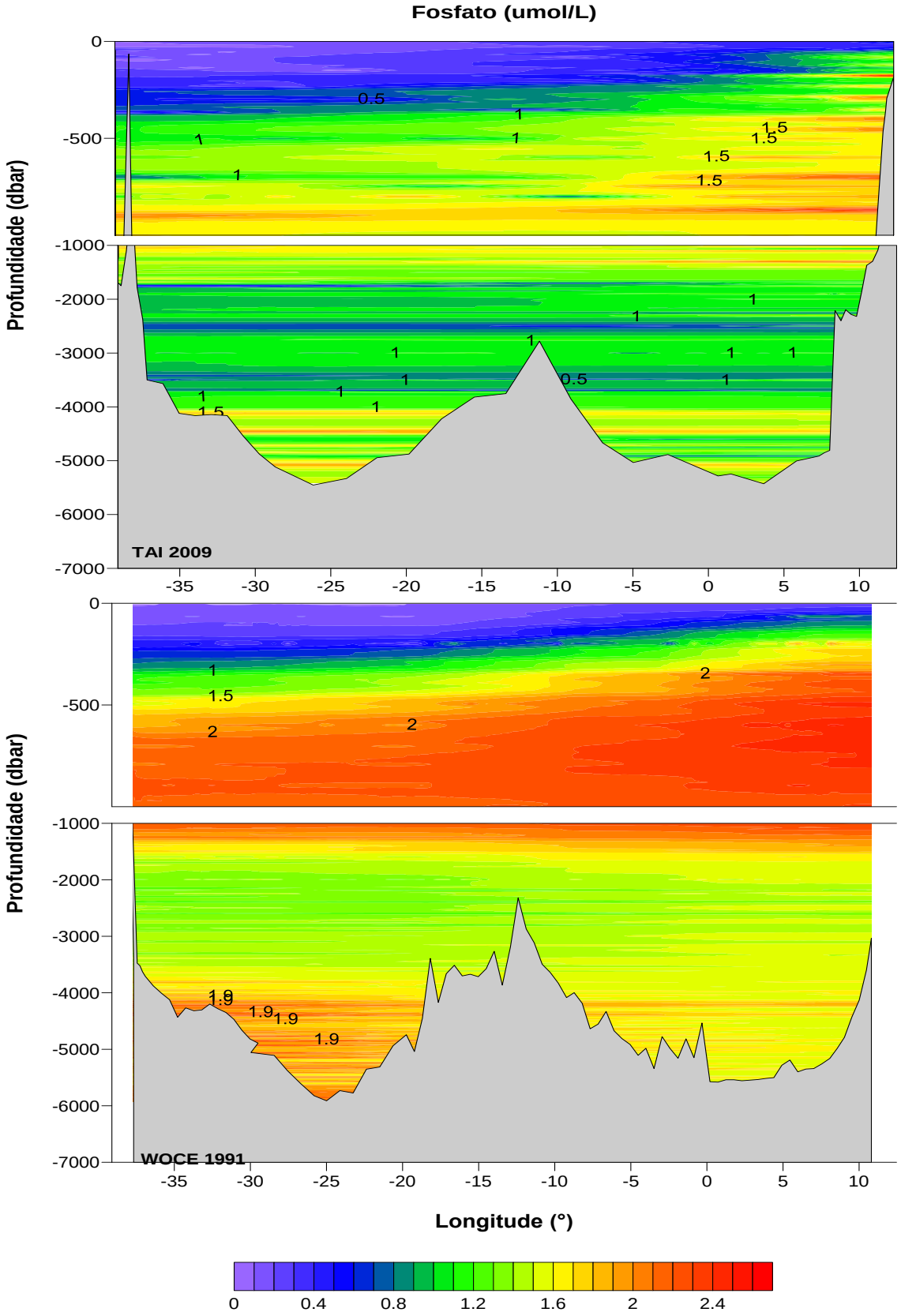

Figura 17. Distribuição das concentrações de fosfato dissolvido em isolinhas nos Programas TA-I 2009 (acima) e WOCE 1991 (abaixo).

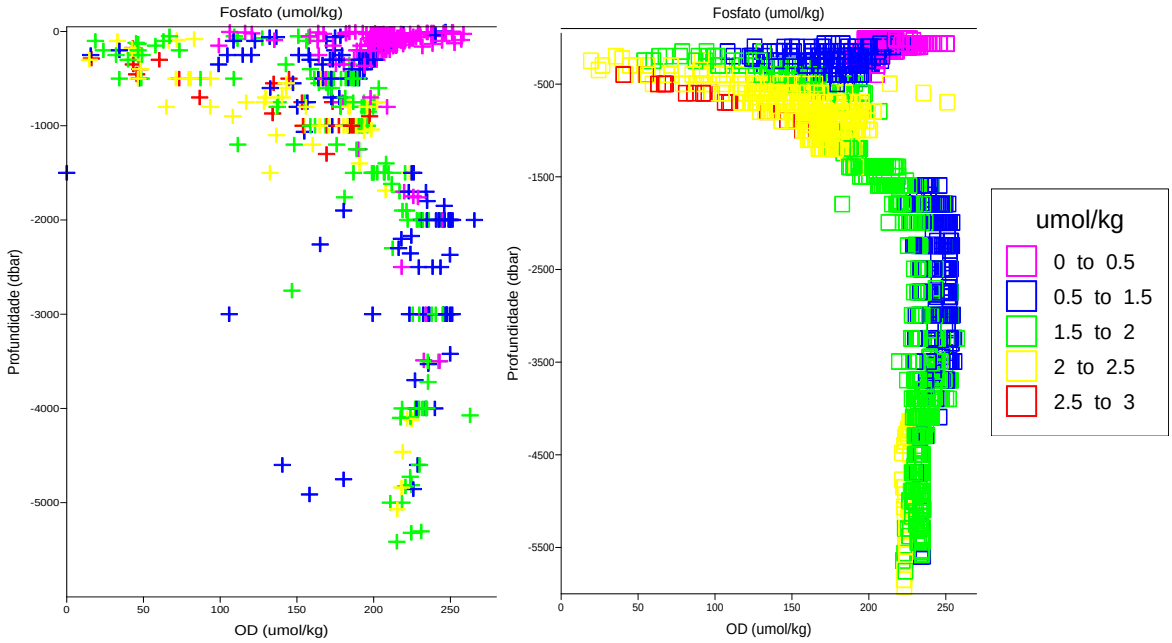

Figura 18. Concentração de fosfato dissolvido (em escala de cor) para cada combinação de dispersão dos valores globais de oxigênio dissolvido (eixo x) e profundidade (eixo y) nos Programas TA-I 2009 (esquerda) e WOCE 1991(direita).

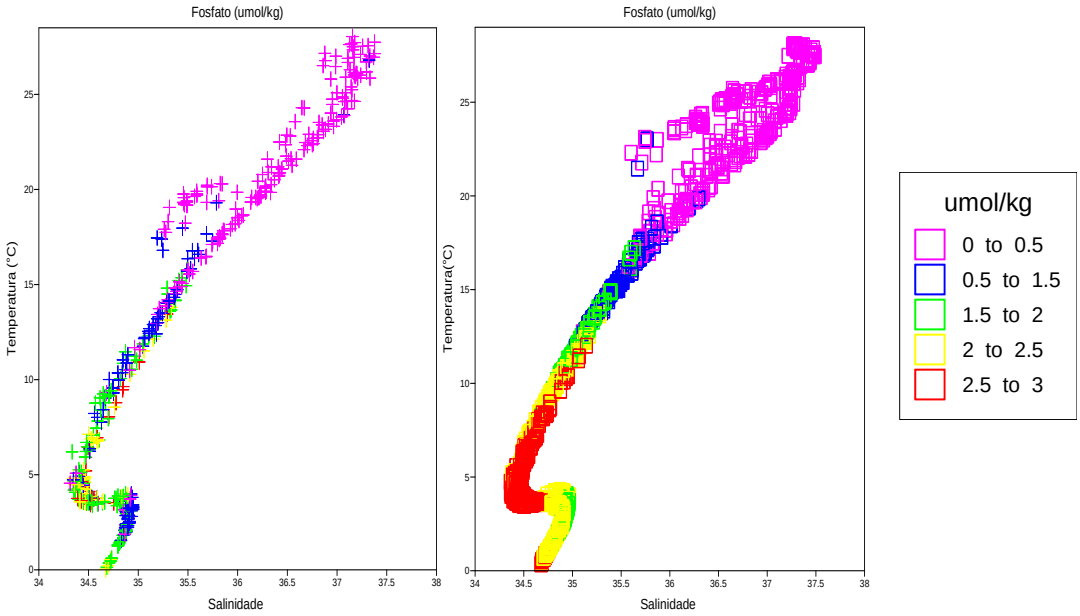

Figura 19. Concentração de fosfato dissolvido (em escala de cor) para cada combinação da dispersão em diagrama T-S dos valores globais de temperaturas e salinidade nos Programas TA-I 2009 (esquerda) e WOCE 1991 (direita).

5.1.6 Nitrato

O nitrato, como o silicato e o fosfato também apresentou um perfil de distribuição similar aos que já foram descritos anteriormente. Da mesma forma que o fosfato, o nitrato apresentou uma feição de distribuição mais semelhante no transecto sobre as Bacias Oeste e Central, e uma distribuição diferenciada na Bacia Leste, decorrente dos processos de ressurgência costeira presentes nesta região (Fig.20).

As camadas superficiais das regiões oeste e central apresentaram-se quase exauridas de nitrato, consequência da maior produtividade primária, entre 0 e 100 dbar, e as concentrações variaram de 0,09 a 3,10 µmol kg^{-1} no TA-I e, de 0,00 a 0,60 µmol kg^{-1} no WOCE (Fig. 21). Entre 100 e 400 dbar, uma água um pouco mais enriquecida, o nitrato variou entre 3,15 e 12,16 µmol kg^{-1} no TA-I e, entre 0,70 e 19,34 µmol kg^{-1} no WOCE. Entre 500 e 1000 dbar, observou-se um incremento nas concentrações de nitrato, característico da presença da AIA (OUDOT et al., 1999), com concentrações variando entre 13,14 e 21,74 µmol kg^{-1} no TA-I e de 9,50 a 32,86 µmol kg^{-1} no WOCE. Entre 1200 e 2000 dbar, nas águas mais salinas e oxigenadas da APAN (REID, 1989), o nitrato apresentou uma queda relativa na concentração em direção o fundo (Fig.22), atingindo valores de 17,03 µmol kg^{-1} no TA-I e, 18,88 µmol kg^{-1} no WOCE. Na camada mais profunda, a concentração voltou a aumentar, chegando a 20,32 µmol kg^{-1} no TA-I e, 30,80 µmol kg^{-1} no WOCE.

No caso da Bacia Leste, as diferenças nas concentrações de nitrato ocorreram nas camadas superiores, já que a ressurgência regional permite que os nutrientes das camadas mais enriquecidas atinjam as camadas normalmente mais exauridas, entre 0 e 100 dbar onde os valores chegaram a até 2,11 µmol kg^{-1} no Programa TA-I e 8,79 µmol kg^{-1} no WOCE. No Setor na Bacia Leste, as águas com características da ACAS apareceram em uma profundidade um pouco mais rasa e, com concentrações mais elevadas em relação às outras Bacias, em profundidade de 100 a 300 dbar, variando entre 10,28 e 19,00 µmol kg^{-1} no TA-I e, entre 9,50 e 19,85 µmol kg^{-1} no WOCE. Nas profundidades entre 400 e 1000 dbar, a concentração de nitrato atingiu o valor máximo,

de 22,23 µmol kg^{-1} no TA-I e, de 36,48 µmol kg^{-1} no WOCE. A camada entre 1200 e 2200 dbar apresentou uma redução, chegando a 16,20 µmol kg^{-1} no TA-I e, 22,59 µmol kg^{-1} no WOCE. Na camada abaixo de 2500 dbar ocorreu um leve aumento, porém menor do que o observado nas Bacias Oeste e Central, atingindo 20,17 µmol kg^{-1} no TA-I e 23,37 µmol kg^{-1} no WOCE.

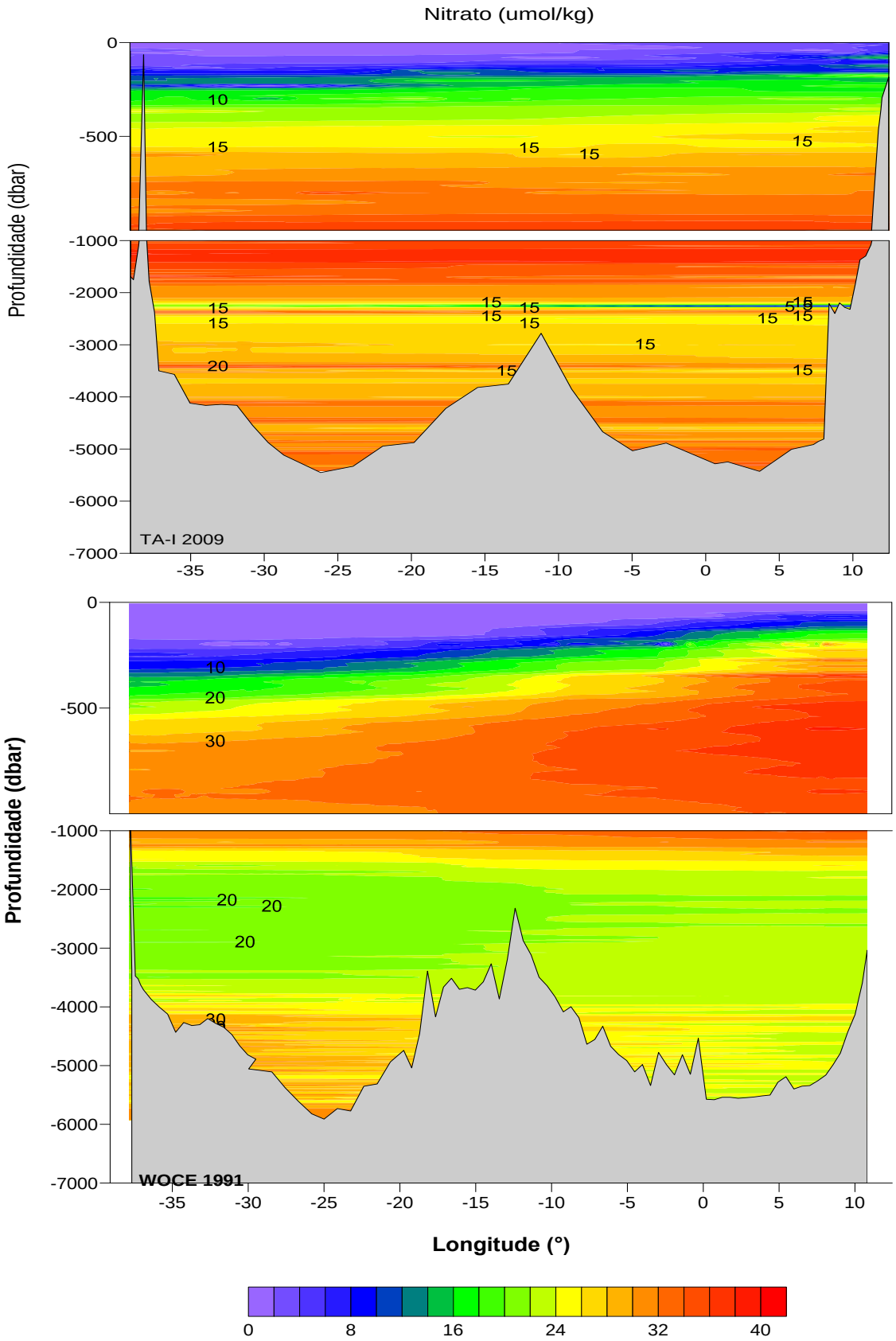

Figura 20. Distribuição das concentrações de nitrato dissolvido em isolinhas nos Programas TA-I 2009 (acima) e WOCE 1991 (abaixo).

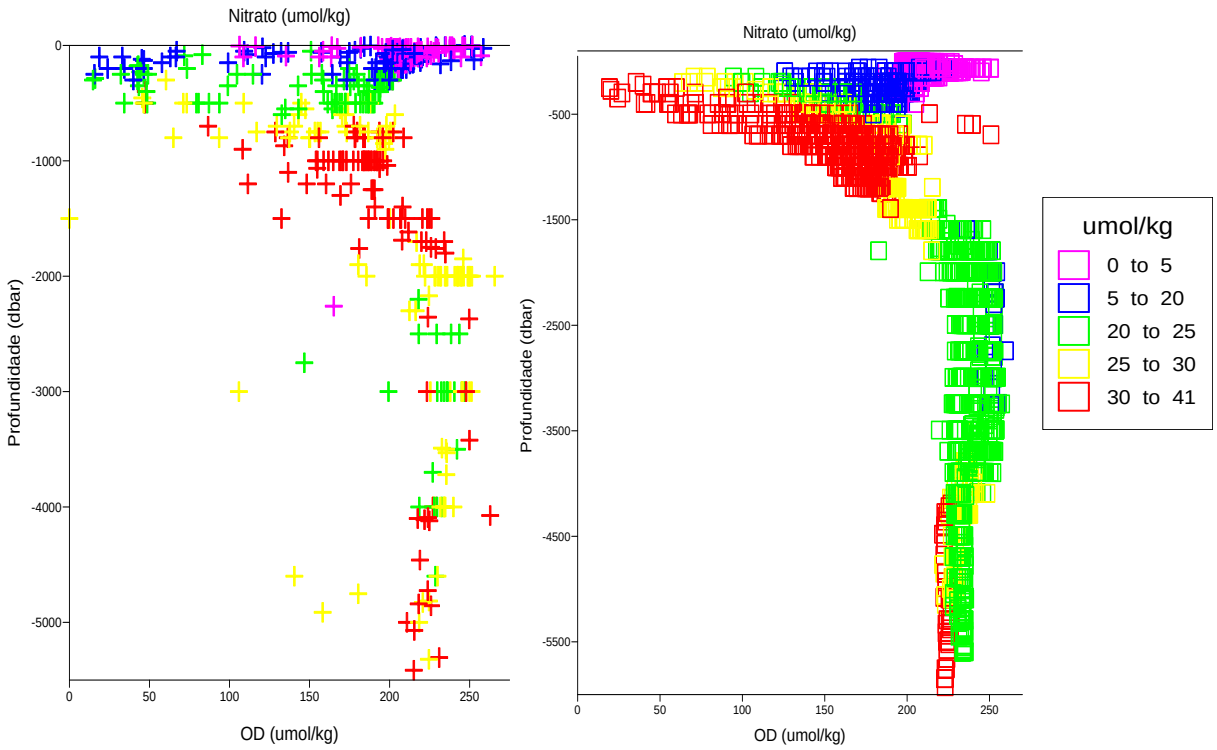

Figura 21. Concentração de nitrato dissolvido (em escala de cor) para cada combinação de dispersão dos valores globais de oxigênio dissolvido (eixo x) e profundidade (eixo y) nos Programas TA-I 2009 (esquerda) e WOCE 1991(direita).

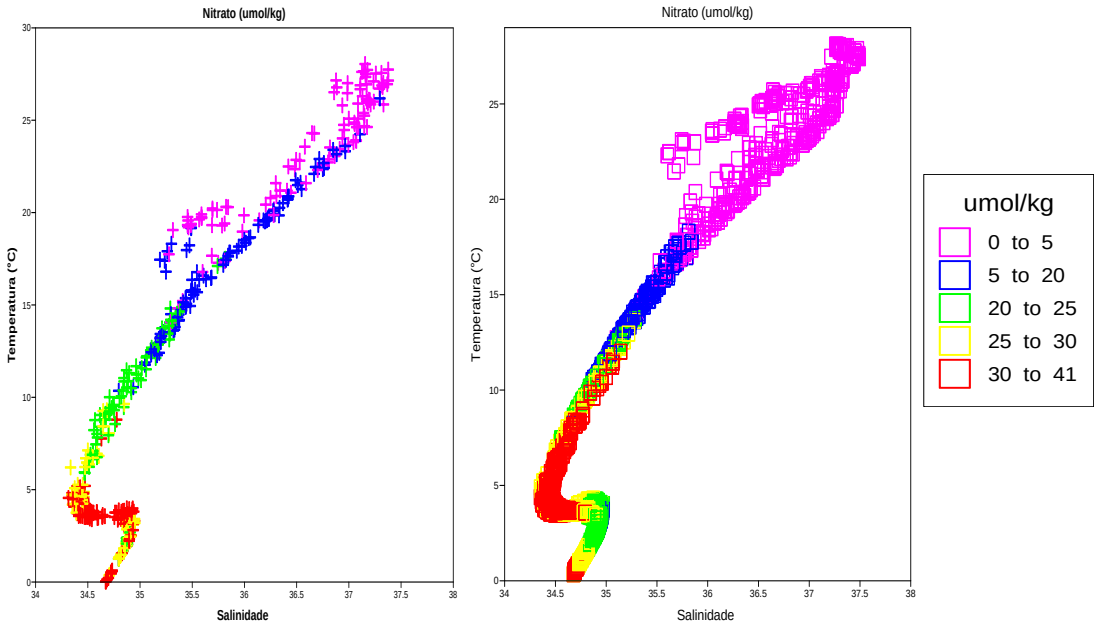

Figura 22. Concentração de nitrato dissolvido (em escala de cor) para cada combinação da dispersão em diagrama T-S dos valores globais de temperaturas e salinidade nos Programas TA-I 2009 (esquerda) e WOCE 1991 (direita).

De um modo geral, foi observado um esgotamento em nutrientes na camada de superfície associado ao processo de produção primária ao longo do transecto. Junto à costa africana, houve um acentuado consumo de oxigênio na camada de mínimo, associada ao processo de ressurgência, mostrado pelo aporte de nutrientes às camadas mais superiores. Como produto da degradação da chuva de matéria orgânica gerada, essa região também apresentou um mínimo de oxigênio mais extremo. As águas intermediária, central e de fundo também mostraram a riqueza relativa em sais nutrientes

Considerações parciais

Essa primeira avaliação geral dos dados possibilitou a caracterização das massas d´água presentes na região, utilizando-se os parâmetros clássicos, temperatura e salinidade, e acrescidos dos parâmetros químicos, para uma melhor identificação das massas d'água, que nesse trabalho são oxigênio dissolvido, silicato, fosfato e nitrato. Nos dois Programas foi possível observar a mesma feição geral do perfil de distribuição dos parâmetros abióticos, identificando as massas d'água (AT, ACAS, AIA, APAN e AFA) e seu posicionamento na coluna d'água, com características bastante semelhantes às já mencionadas na literatura. Além disso, houve a oportunidade de discriminar valores de parâmetros químicos nas massas d'água em épocas distintas que podem ser úteis para um melhor conhecimento das concentrações dos nutrientes ao longo da circulação termohalina, e o respectivo acompanhamento de possíveis efeitos de mudanças climáticas globais nos oceanos. As diferenças encontradas podem estar relacionadas à densidade da malha amostral dos dois Programas, bem como às variabilidades interanuais inerentes ao sistema, e ainda, ao período temporal entre os Programas, de quase duas décadas (WOCE - 1991 e TA-I - 2009), somado à posição sazonal, visto que o Programa WOCE foi realizado no final do verão austral, enquanto o Programa TA-I ocorreu no final da primavera austral.

5.2 Estudo da distribuição dos parâmetros hidrológicos e hidroquímicos em estações com posições aproximadas nos cruzeiros TA-I e WOCE

Com o objetivo de observar a distribuição vertical dos parâmetros e a evolução temporal dos mesmos com base nos dados dos dois Programas foram escolhidos nove perfis verticais para estudo de evolução temporal, três em cada região, sendo na Bacia Oeste: BW1, BW2 e BW3, na região central sobre a Cordilheira Meso-Atlântica: MA1, MA2 e MA3 e na região da Bacia Leste: BE1, BE2 e BE3. Esses perfis foram escolhidos utilizando como critério a maior proximidade possível na localização das estações, ou seja, maior coincidência dos pontos obtidos em cada Programa (Fig.23) observando também a semelhança na profundidade de trabalho. As estações escolhidas e suas novas denominações, incluindo suas posições geográficas e profundidades de trabalho constam na Tabela 3 e na figura 24.

Tabela 3. Estações com maior proximidade nos dois Programas (TA-I 2009 e WOCE, 1991). Número da estação, latitude, longitude das estações, profundidade de trabalho e suas novas denominações.

		BW 1	**BW 2**	**BW 3**	**MA 1**	**MA 2**	**MA 3**	**BE 1**	**BE 2**	**BE 3**
TAI	Estação	#127	#125	#123	#116	#115	#114	#108	#107	#106
	Lat. (°)	-20,030	-20,007	-20,000	-20,030	-20,006	-20,006	-19,999	-19,996	-19,999
	Long. (°)	-35,041	-32,913	-30,789	-17,655	-15,498	-13,414	-0,638	1,499	3,661
	Prof.(dbar)	4100	4092	4460	4074	3720	3700	4913	4752	5305
WOCE	Estação	#133	#137	#141	#162	#166	#177	#201	#205	#209
	Lat. (°)	-19,000	-19,000	-19,000	-19,000	-19,000	-19,000	-19,000	-19,000	-19,003
	Long.(°)	-35,313	-33,193	-31,080	-17,650	-15,548	-13,448	-0,853	1,250	3,347
	Prof.(dbar)	4138	4295	4480	4169	3690	3889	5209	5594	5566

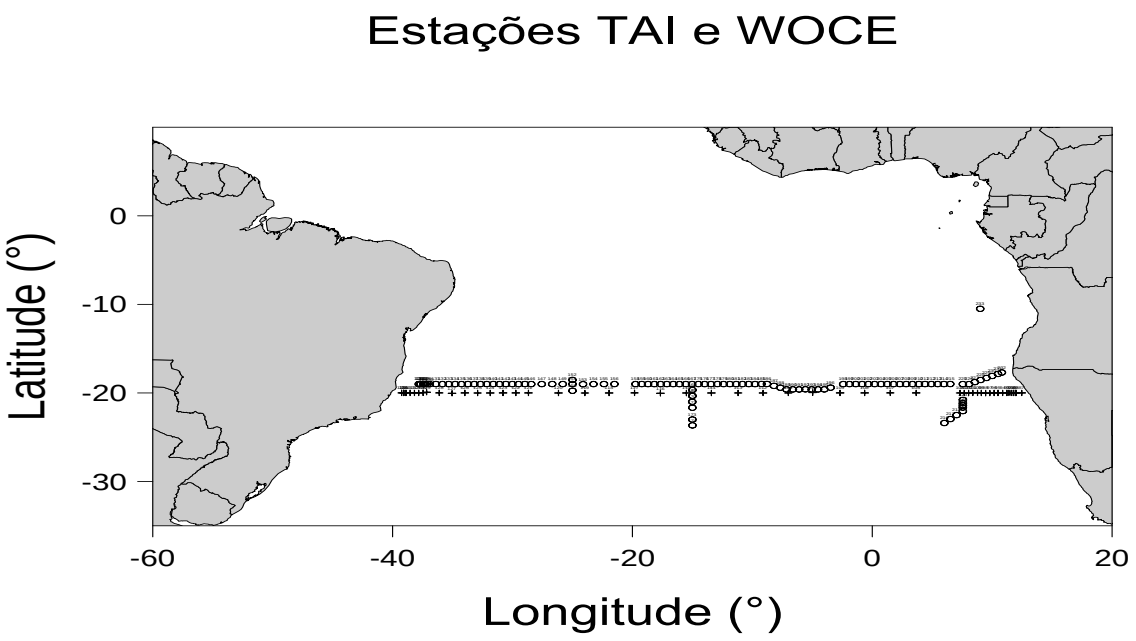

Figura 23. Localização das estações dos programas TA-I (+) e WOCE (○).

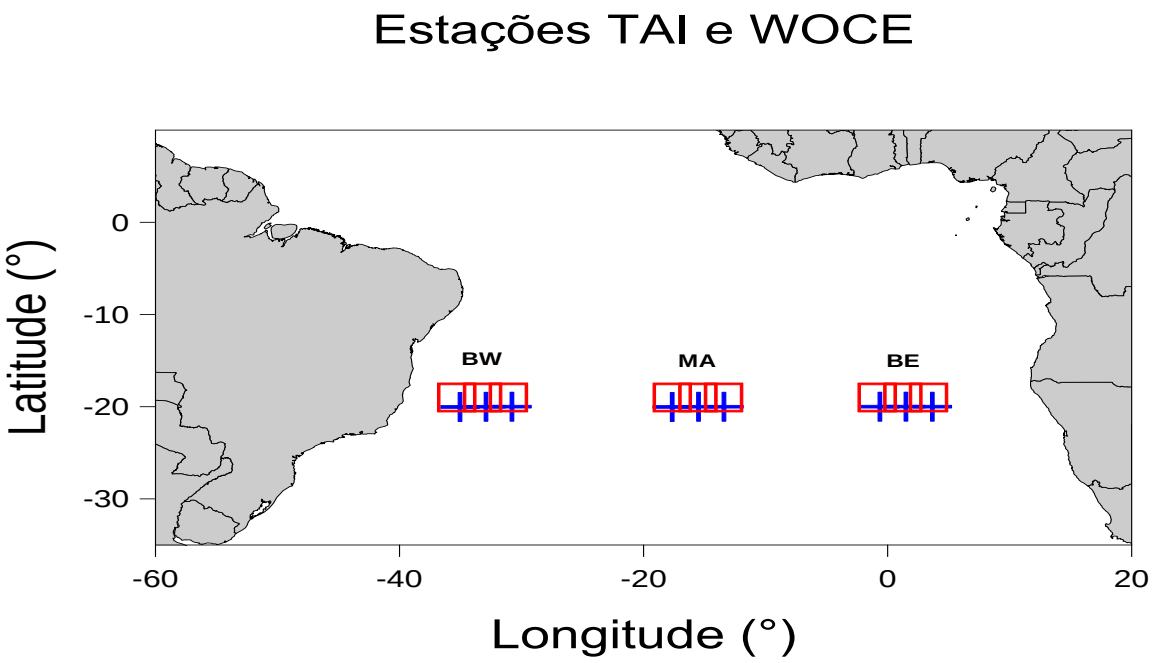

Figura 24. Localização das estações mais próximas nos Programas TA-I (+) e WOCE (□), nas regiões oeste (BW), central (MA) e leste (BE).

5.2.1 Temperatura e Salinidade

Os perfis de distribuição da temperatura e salinidade nos dois Programas foram bastante semelhantes, com pequenas distinções nas águas mais superficiais, possivelmente em decorrência da diferença sazonal do período amostral. O Programa WOCE, realizado no final do verão austral, apresentou águas um pouco mais quentes e salinas, com diferenças de 1 a 4°C e com uma unidade de salinidade acima, do que mostrou o Programa TA-I, realizado no final da primavera austral, considerando os perfis verticais das três regiões do transecto. A partir de aproximadamente 200 dbar em direção ao fundo, os valores não apresentaram diferenças acentuadas, havendo maior coincidência nos valores (Fig.25).

Ao longo do transecto localizado a 20°S, abordado neste estudo, a termoclina observada nos dois Programas, teve sua base entre 500 e 1000 dbar na Bacia Oeste e parte Central (6,70 e 3,50°C), enquanto na Bacia Leste, devido ao processo de ressurgência na costa africana, a base da termoclina apareceu junto à profundidade de 500 dbar (4,50 e 6,50°C). A salinidade apresentou seus menores valores entre 500 e 1000 dbar (34,40), na Bacia Oeste e parte central, nos dois Programas (Fig.26). Na Bacia Leste, acompanhando o perfil da temperatura, os valores mais baixos se encontraram próximos a 500 dbar (34,45). Essa composição de valores T-S caracteriza a presença da Água Intermediária Antártica, mais fria e menos salina abaixo da base da termoclina (OUDOT et al., 1999).

Observando as feições dos perfis em direção ao fundo, foi possível verificar o declínio da temperatura, que alcançou os valores mais baixos (~0,44°C) na Bacia Oeste em relação às outras regiões. Na parte central, o menor valor encontrado foi de 1,60°C, enquanto na Bacia Leste foi de 2,50°C, indicando uma erosão das características originais da AFA mais significativa na Bacia Leste, decorrente do fluxo diferenciado que essa massa d'água segue no Oceano Atlântico Sul (MANTYLA; REID, 1983). Os perfis de salinidade nas águas abaixo de 1000 dbar permitiram observar um leve aumento dos valores entre 1500 e 3000 dbar, indicando a presença da água mais salina da APAN (REID, 1989). Abaixo dessa profundidade, os valores de salinidade voltaram a diminuir, alcançando valores abaixo de 34,90, caracterizando a AFA (EMERY, 2003)

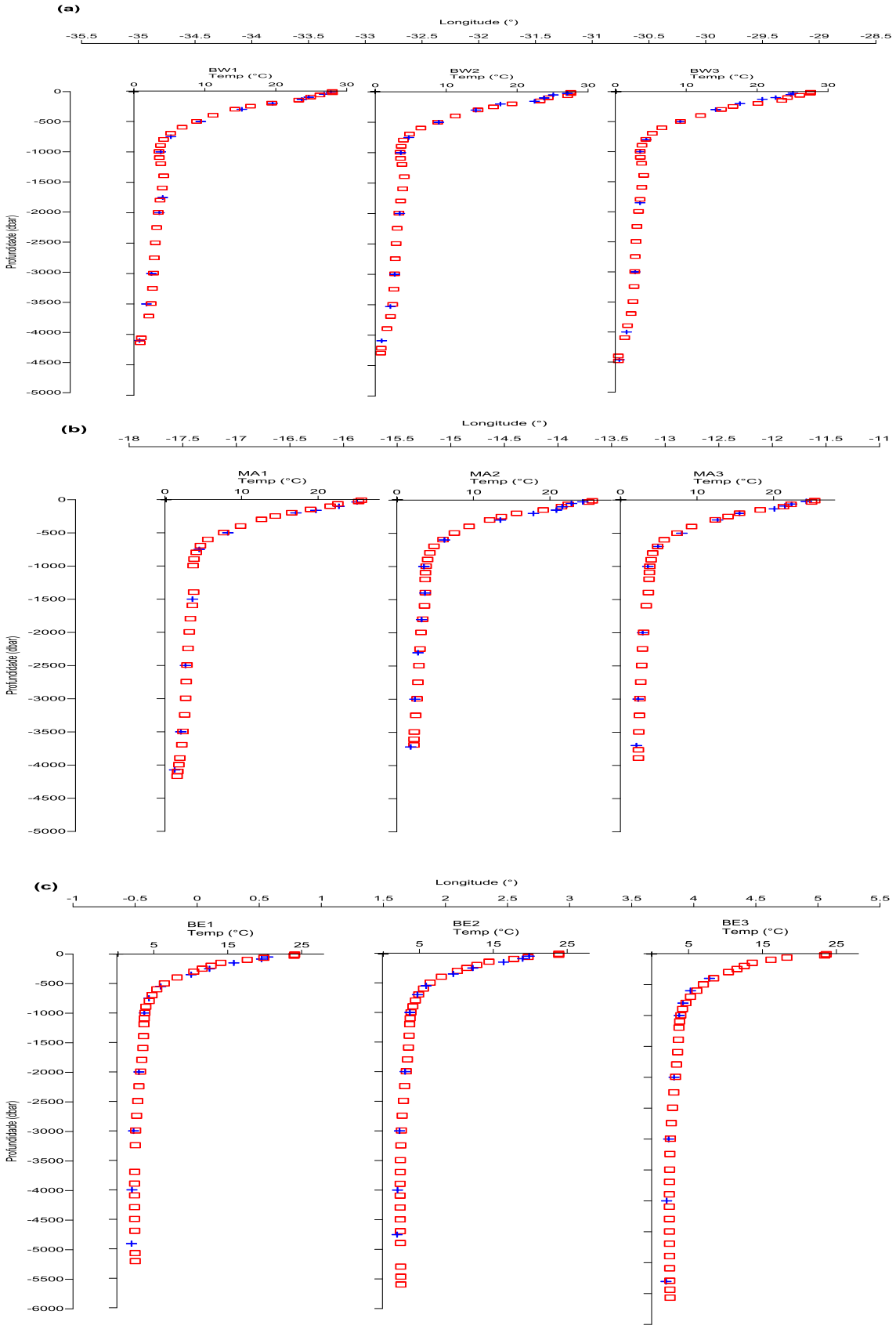

Figura 25. Perfis verticais de distribuição de temperatura nas estações com localizações próximas nos três Programas: (a) região oeste (BW), (b) cordilheira Meso-Atlântica (MA) e (c) região leste (BE) (+ TA-I, 2009 □ WOCE, 1991).

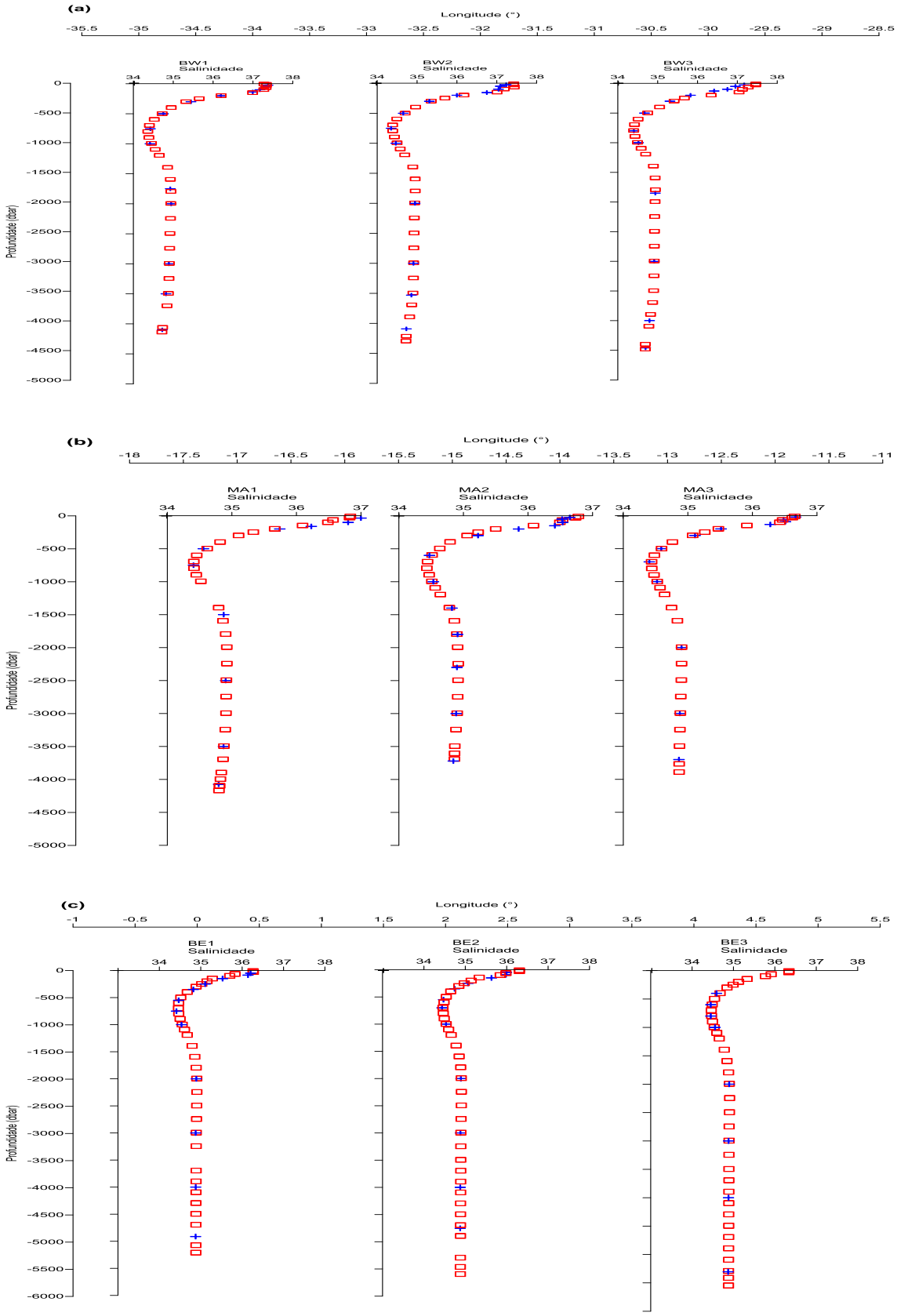

Figura 26. Perfis verticais de distribuição de salinidade nas estações com localizações próximas nos três Programas: (a) região oeste (BW), (b) cordilheira Meso-Atlântica (MA) e (c) região leste (BE) (+ TA-I, 2009 □ WOCE, 1991).

5.2.2 Oxigênio Dissolvido

O oxigênio dissolvido também apresentou uma distribuição vertical similar nos dois Programas, com pequenas diferenças da superfície até aproximadamente 500 dbar (Fig.27). No detalhamento da distribuição no perfil vertical, foi possível observar duas camadas de mínimo de oxigênio, uma mais acentuada a 500 dbar (138,40 µmol kg^{-1}) e outra mais fraca a aproximadamente 1000 dbar (160,50 µmol kg^{-1}) nas Bacias Oeste e parte central. Na Bacia Leste, porém aparece apenas uma camada de mínimo, que deve refletir a presença da ressurgência que contribui com uma "chuva de matéria orgânica" levando a um aparecimento de valores mais baixos de oxigênio dissolvido, como 54,30 µmol kg^{-1} no Programa WOCE, e 99,10 µmol kg^{-1} no Programa TA-I. Além disso, essa camada de mínimo mais acentuada ocorreu em profundidades mais rasas (250 dbar) quando comparadas aos outros setores estudados, como já dito, devido a presença do processo de ressurgência local, que alimenta a região com uma maior quantidade de nutrientes nas camadas mais rasas, possibilitando um aumento da produtividade primária e consequentemente uma maior produção de matéria orgânica que será degradada nas camadas abaixo, ocasionando o aumento do consumo de oxigênio dissolvido.

Nas profundidades abaixo das camadas de mínimo de oxigênio, entre 1500 e 3500 dbar, os valores de oxigênio aumentaram até 253,70 µmol kg^{-1} na Bacia Oeste, 243,70 µmol kg^{-1}, na parte central e, 235,80 µmol kg^{-1} na Bacia Leste, caracterizando a APAN, uma água mais oxigenada (TSUCHIYA; TALLEY; MCCARTNEY, 1994). As concentrações de oxigênio dissolvido tiveram uma pequena redução nas camadas mais profundas, abaixo de 3500 dbar, atingindo 217 µmol kg^{-1} no Programa TA-I, e 223 µmol kg^{-1} no Programa WOCE na Bacia Oeste. Passou a valores de 237 µmol kg^{-1} no Programa TA-I e 242 µmol kg^{-1} no Programa WOCE, na parte central. Na Bacia Leste, a tendência de redução foi a mais suave, alcançando valores aproximados de 230 µmol kg^{-1}, com uma leve diferença que ainda tornou possível a distinção entre a APAN e a AFA, nos dois Programas.

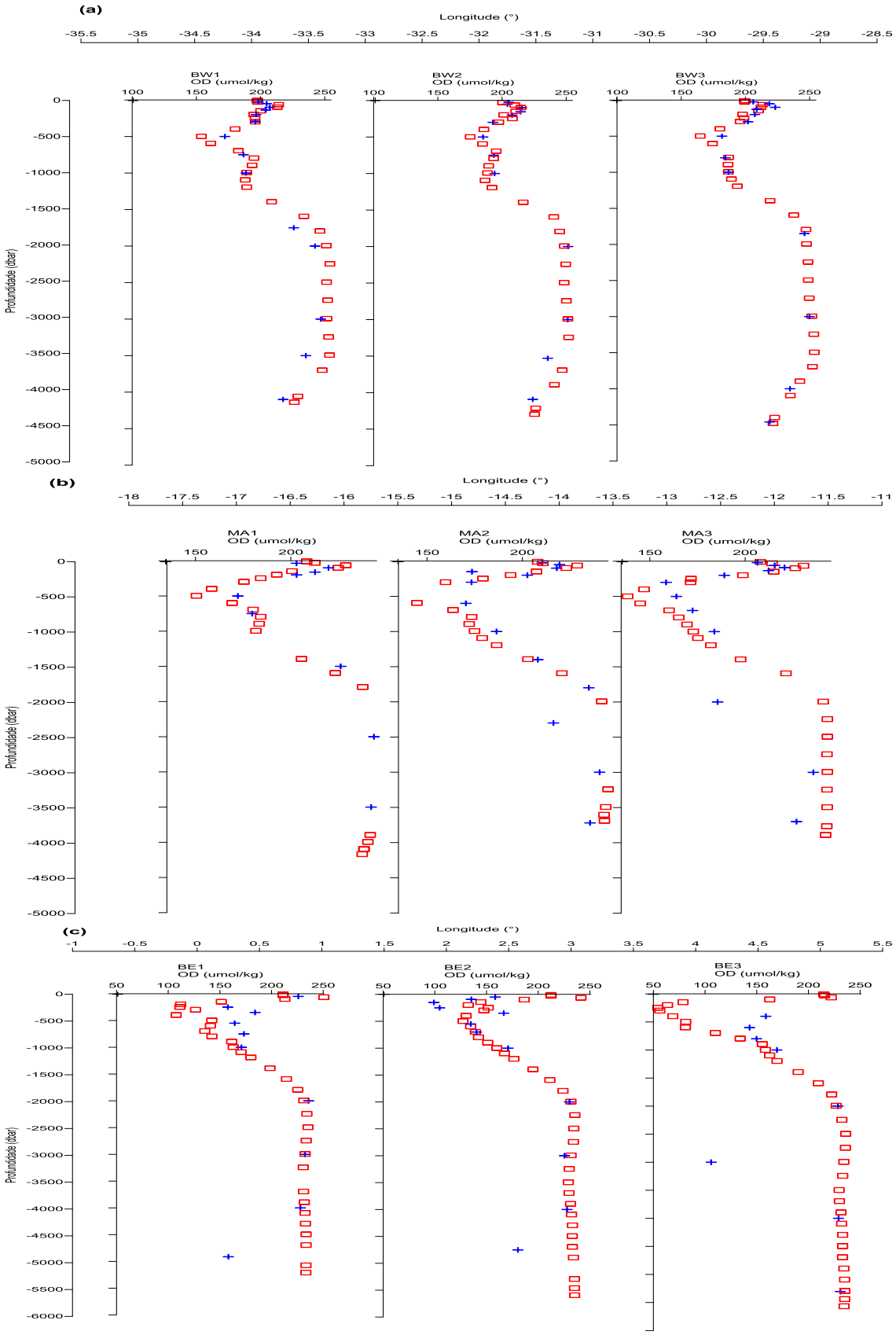

Figura 27. Perfis verticais de distribuição de oxigênio dissolvido nas estações com localizações próximas nos três Programas: (a) região oeste (BW), (b) cordilheira Meso-Atlântica (MA) e (c) região leste (BE) (+ TA-I, 2009 □ WOCE, 1991).

5.2.3 Nutrientes

Os nutrientes são elementos essenciais à construção da matéria orgânica no meio marinho. Silicato, fosfato e nitrato são os nutrientes observados nesse estudo, os quais desempenham o mesmo papel nos processos biológicos no oceano, participando dos ciclos biogeoquímicos que envolvem as atividades de produção, decomposição e regeneração da matéria orgânica marinha, portanto suas distribuições, de forma geral, são bastante similares. As camadas superiores dos oceanos, junto à região eufótica, se apresentam quase exauridas em nutrientes devido ao alto consumo pela intensa produtividade primária. E em direção ao fundo, abaixo da camada eufótica, as concentrações apresentam tendência de aumento, consequência do processo de remineralização do afundamento de matéria orgânica originária das camadas superiores. A partir desse comportamento geral de intensa regeneração junto à camada de mínimo de oxigênio e ausência de consumo nas camadas mais profundas, mostrando um comportamento conservativo, cada um dos nutrientes citados apresentam suas singularidades relativas ao seu próprio ciclo biogeoquímico.

Na camada eufótica, os valores de silicato se apresentaram quase nulos (abaixo do limite de detecção do método) até a profundidade de 500 dbar na região oeste e central, enquanto na região leste essa camada exaurida alcançou os 250 dbar (Fig. 28). Em direção ao fundo, observou-se duas camadas nas quais o silicato atinge valores máximos, a primeira entre 500 e 1000 dbar, entre 20 e 30 µmol kg^{-1} no Programa TA-I e, entre 35,00 e 40,00 µmol kg^{-1} no Programa WOCE, indicando a presença da AIA, mais fria, menos salina e rica em nutrientes (MANN; COOTE; GARNER, 1973). O segundo máximo ocorre nas camadas mais profundas, abaixo de 3500 dbar para a porção oeste (entre 25,00 e 100,00 µmol kg^{-1} no Programa TA-I e entre 38,00 e 100,00 µmol kg^{-1} no Programa WOCE) e na porção leste (15,00 e 27,00 µmol kg^{-1} no Programa TA-I e 49,00 e 52,00 µmol kg^{-1} no Programa WOCE). Na porção central, esse máximo ocorreu abaixo de 3000 dbar, entre 25,00 e 35,00 µmol kg^{-1} no Programa TA-I e, entre 36,00 e 50,00 µmol kg^{-1} no Programa WOCE, indicando a presença da AFA, com suas características iniciais, como a alta concentração de silicato (ANDRIÉ et al., 2003), mais preservadas na região oeste, e com maior alteração das propriedades originais nas

regiões central e leste (MANTYLA; REID, 1983). Na camada entre 1500 e 2000 dbar, houve uma redução nas concentrações de silicato, apontando a presença da APAN, uma água menos enriquecida (VANICEK; SIEDLER, 2001).

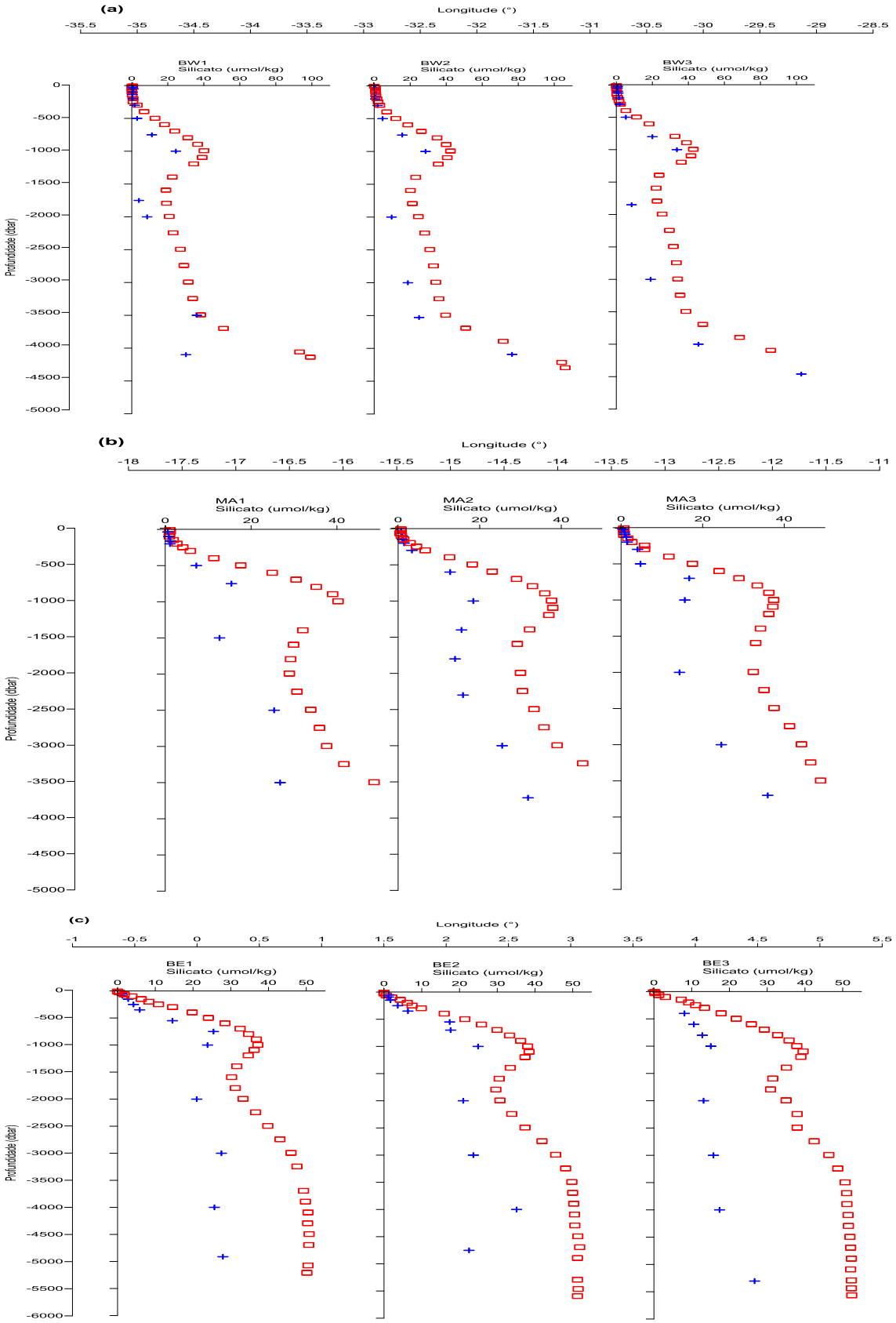

Figura 28. Perfis verticais de distribuição de silicato nas estações com localizações próximas nos três Programas: (a) região oeste (BW), (b) cordilheira Meso-Atlântica (MA) e (c) região leste (BE) (+ TA-I, 2009 □ WOCE, 1991).

O fosfato apresentou suas menores concentrações também nas camadas superficiais, porém em profundidades mais rasas que o silicato, ou seja entre 0 e 200 dbar nas três regiões e, assim como o silicato, apresentou duas camadas com valores máximos (Fig. 29), a primeira coincidindo com a profundidade de identificação da AIA (entre 0,45 e 2,01 µmol kg^{-1} no Programa TA-I e entre 1,65 e 2,60 µmol kg^{-1} no Programa WOCE) e abaixo de 3500 dbar (entre 0,73 e 1,73 µmol kg^{-1} no Programa TA-I e entre 1,44 e 2,30 µmol kg^{-1} no Programa WOCE), identificando a AFA. Nas regiões central e leste, esses máximos foram menores e, especificamente na região leste, as concentrações se mantiveram quase constantes abaixo de 2000 dbar. Além disso, os valores encontrados nas regiões central e leste foram mais baixos do que os encontrados na região oeste para as mesmas profundidades. Nas camadas mais profundas, mais uma vez foi evidenciada a presença da AFA, menos erodida em suas propriedades na porção oeste do Oceano Atlântico (MCGILL, 1964).

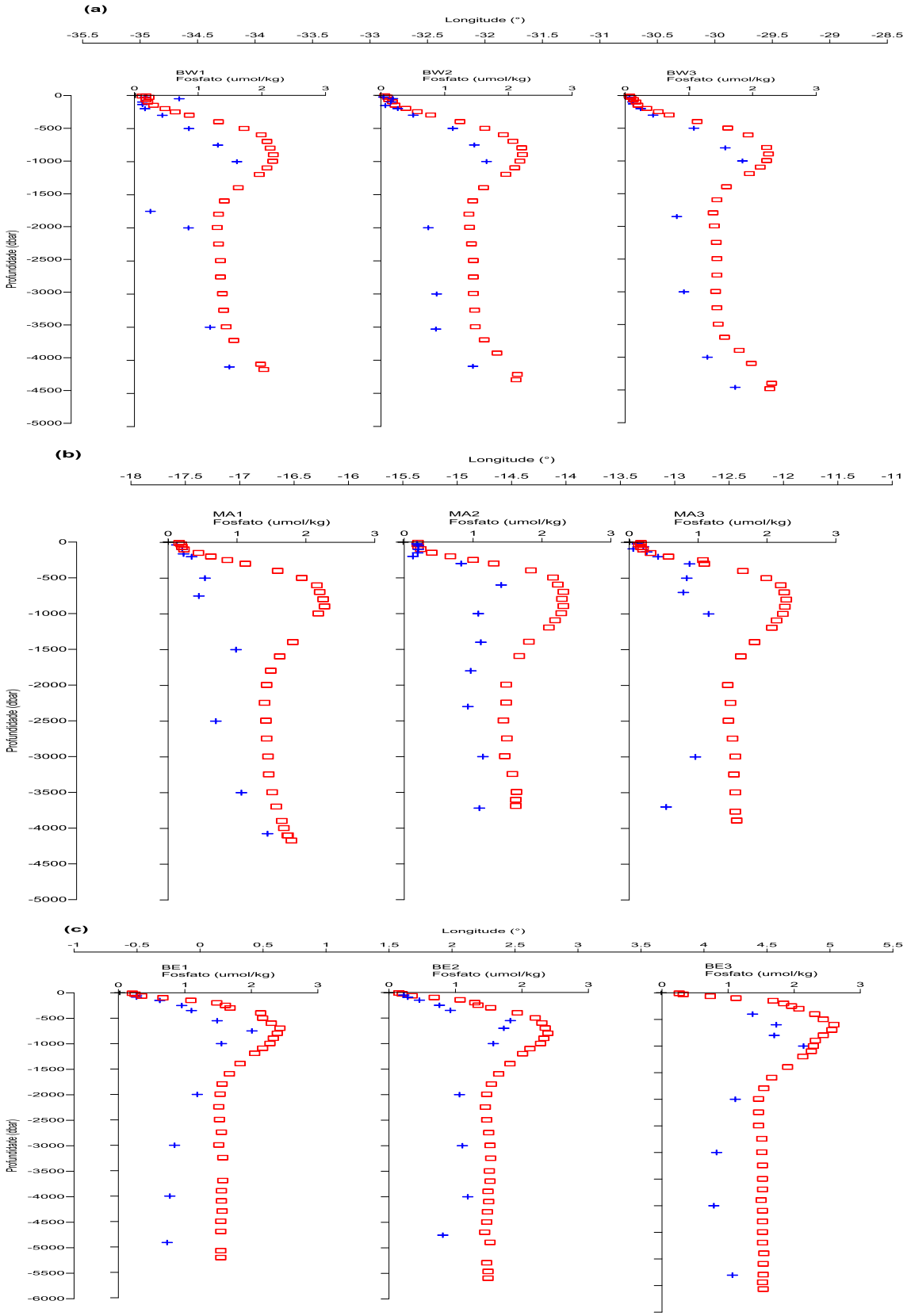

Figura 29. Perfis verticais de distribuição de fosfato nas estações com localizações próximas nos três Programas: (a) região oeste (BW), (b) cordilheira Meso-Atlântica (MA) e (c) região leste (BE) (+ TA-I, 2009 □ WOCE, 1991).

O nitrato também apresentou seus valores mais baixos na camada superficial entre 0 e 200 dbar, na região oeste e central, já na região leste, esses valores foram observados em profundidade mais rasa atingindo aproximadamente 100 dbar, devido à ressurgência local (Fig. 30). Assim como o fosfato, o nitrato apresentou os valores mais elevados entre 500 e 1000 dbar (21,43 µmol kg^{-1} no Programa TA-I e 35,80 µmol kg^{-1} no Programa WOCE), abaixo de uma zona de baixas concentrações de oxigênio (TSUCHIYA; TALLEY; MCCARTNEY, 1994). Nas regiões oeste e central abaixo de 3500 dbar foram encontradas concentrações mais altas (19,31 µmol kg^{-1} no Programa TA-I e 31,19 µmol kg^{-1} no Programa WOCE) do que na camada anterior (14,15 µmol kg^{-1} no Programa TA-I e 20,34 µmol kg^{-1} no Programa WOCE), a APAN, menos enriquecida em nutrientes. Na porção leste, abaixo de 2000 dbar, o nitrato apresentou uma distribuição quase constante nos dois Programas.

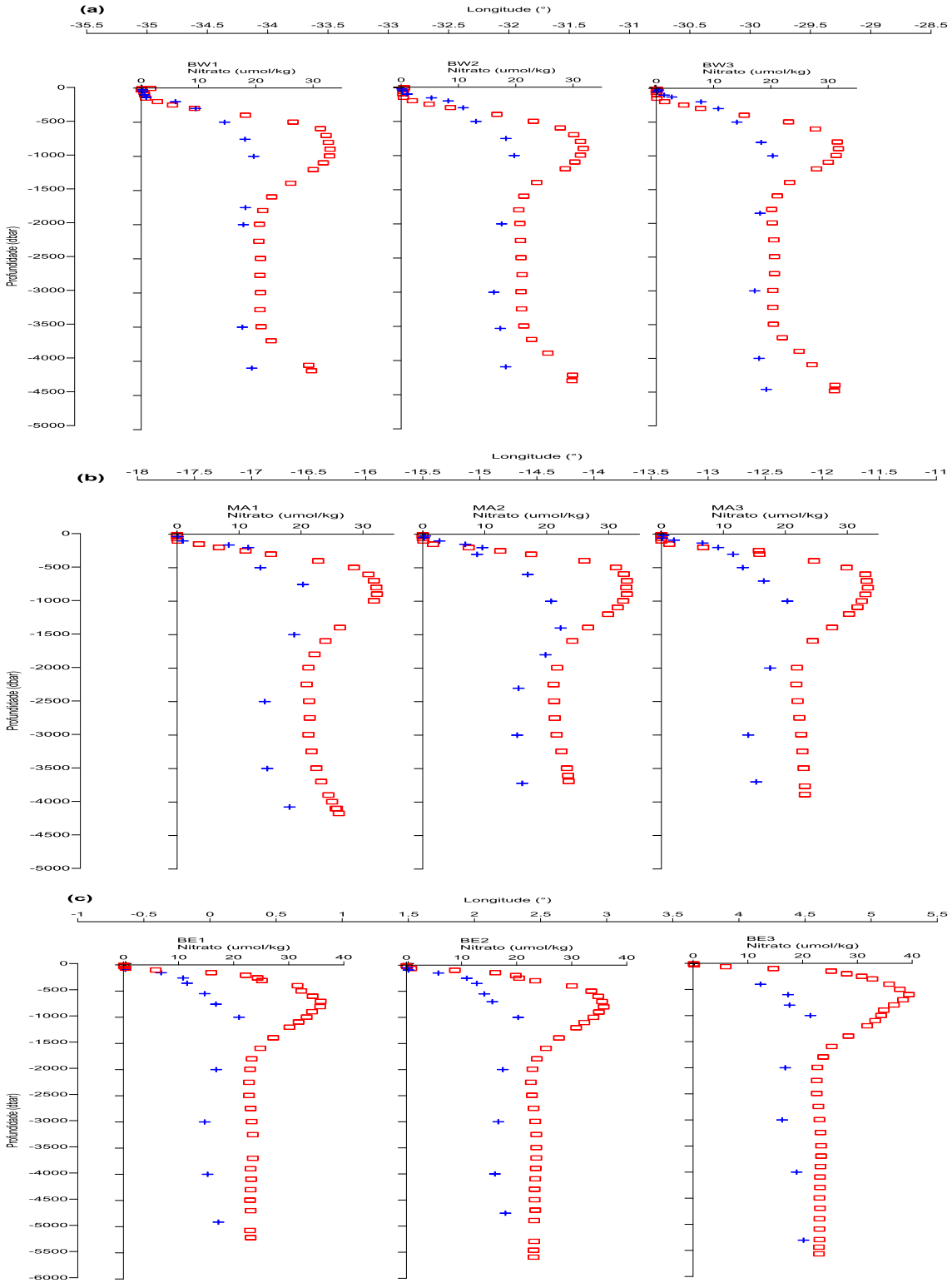

Figura 30. Perfis verticais de distribuição de nitrato nas estações com localizações próximas nos três Programas: (a) região oeste (BW), (b) cordilheira Meso-Atlântica (MA) e (c) região leste (BE) (+ TA-I, 2009 □ WOCE, 1991).

Considerações parciais

De um modo geral, os três sais nutrientes (silicato, fosfato e nitrato) apresentaram perfis de distribuição verticais que evidenciam comportamento semelhante nos dois Programas nas camadas superficiais. A partir de aproximadamente 500 dbar foram observadas menores concentrações de nutrientes no Programa TA-I, o que foi observado também por Delfim (2012) no transecto localizado a 30°S, que pode ser explicado tanto pela variabilidade sazonal, pois na primavera há um consumo mais importante de nutrientes, quanto por variações interanuais. As diferenças entre concentrações de nutrientes nas camadas mais profundas observadas em Programas de pesquisa distintos foram notadas por Pahlow e Riebesell (2000), que sugerem mudanças no processo de remineralização, nos padrões de circulação, ou ainda, nas condições de pré-formação como possíveis explicações. Entretanto, mesmo com a diferença entre os valores de concentração entre os Programas, a tendência da distribuição dos nutrientes foi a mesma nos Programas WOCE e TA-I, permitindo indicar valores de parâmetros químicos para auxiliar na identificação das massas d'água presentes na região. As características da circulação profunda de cada Bacia e na região da cordilheira também puderam ser observadas nos dados dos dois Programas. A contribuição na caracterização das massas de águas com informações além dos tradicionais são uma contribuição aos estudos oceânicos.

6. ESTUDO DA DISTRIBUIÇÃO DOS PARÂMETROS HIDROLÓGICOS E HIDROQUÍMICOS NA REGIÃO DE RESSURGÊNCIA NA COSTA DA NAMÍBIA

Com o objetivo verificar a influência da ressurgência Benguela - Angola que ocorre na costa oeste da África, junto à costa da Namíbia próxima a extremidade leste do transecto estudado, diferente do amostrado no Programa WOCE, foram escolhidas as 4 estações mais próximas da costa da Namíbia (#87 a #90), do Programa TA-I (2009), de forma a observar o comportamento da distribuição dos parâmetros físicos e químicos (Fig.31).

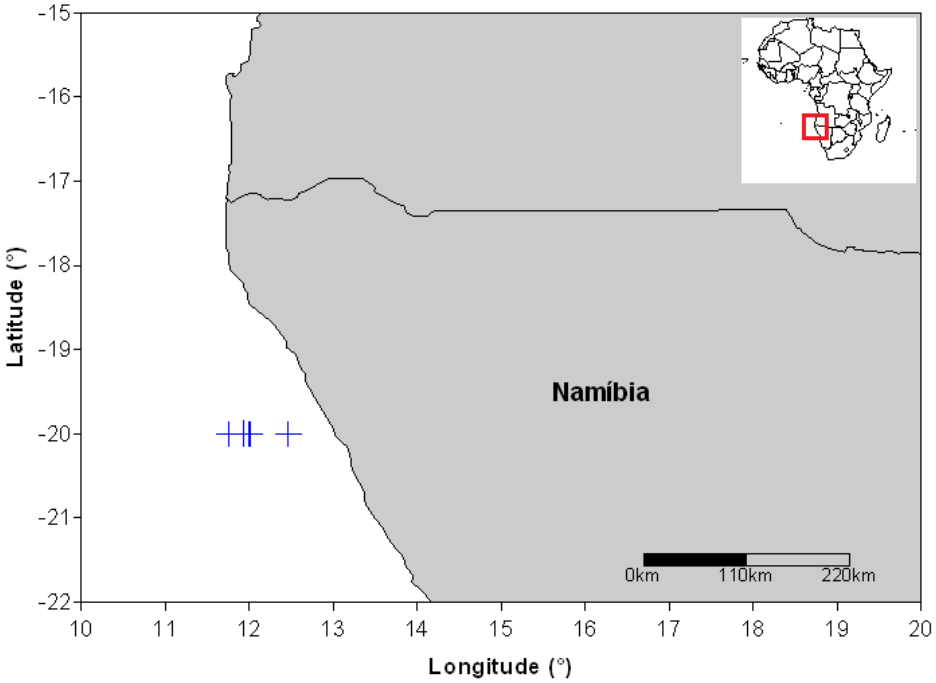

Figura 31. Localização das estações 87 a 90 no Programa TA-I, consideradas para análise do processo de ressurgência da costa oeste da África.

O processo de ressurgência, segundo Sverdrup, Johnson e Fleming (1942), é um efeito secundário das correntes produzidas por ventos que sopram paralelamente à costa leste dos oceanos e carregam uma camada de água superficial (transporte de Ekman) que será preenchida perto da costa por águas sub-superficiais (até 300 dbar). O efeito da

fricção do vento que flui em direção ao Equador paralelo à costa é somado ao efeito de rotação da Terra (PICKARD, 1974). Como consequência da ressurgência, uma camada de água mais fria, relativamente menos salina e enriquecida em nutrientes, aflora na camada eufótica que normalmente se encontraria exaurida em nutrientes, possibilitando o desenvolvimento de uma intensa produção biológica na região. Esse processo é mais característico em áreas onde fluem as correntes de contorno leste dos oceanos, sendo as mais conhecidas, a ressurgência da costa do Peru, da Califórnia, do Marrocos e do sudoeste africano.

A Corrente de Benguela que flui para o norte ao longo da costa oeste do continente africano, em conjunto com a dinâmica da circulação oceânica do hemisfério sul, o giro subtropical do Atlântico Sul, e da dinâmica dos ventos de origem predominantemente de sul e sudeste, propiciam que o processo ocorra com muita variabilidade espacial e temporal, da região de Cape Point, na África do Sul (34,35°S) até Cape Frio, na Namíbia (18,40°S) na maior parte do ano. A ressurgência principal ocorre na região mais ao sul no período do verão austral, que se move em direção ao norte durante o inverno, mas a compressão máxima das isóbaras ocorre na primavera, e com isso uma ressurgência mais intensa ocorre nessa estação sazonal (PETERSON; STRAMMA, 1991).

6.1 Temperatura e salinidade

Os valores de temperatura variaram de 14,95 a 19,18° C entre 0 e 100 dbar, com valores mais baixos nas estações mais próximas à costa, onde a temperatura atingiu 17,45°C na superfície na estação 87 e 19,18°C na estação 90 (Fig.32). A partir de 100 dbar as temperaturas seguem diminuindo, sem diferenças referentes a localização das estações. A salinidade variou de 34,40 a 35,49 de 0 a 500 dbar, de forma mais homogênea em relação localização das estações, diminuindo em direção ao fundo (Fig.33). Esses valores combinados em um gráfico T-S (Fig.34), demonstram uma água com características compatíveis com a ACAS, 5°C – 18°C e 34,3-35,8 (EMERY, 2003), mas que também deve ter contribuições dos processos de mistura da coluna d'água, e ainda, de águas que vem de regiões mais ao sul, seguindo para o norte com a Corrente de Benguela.

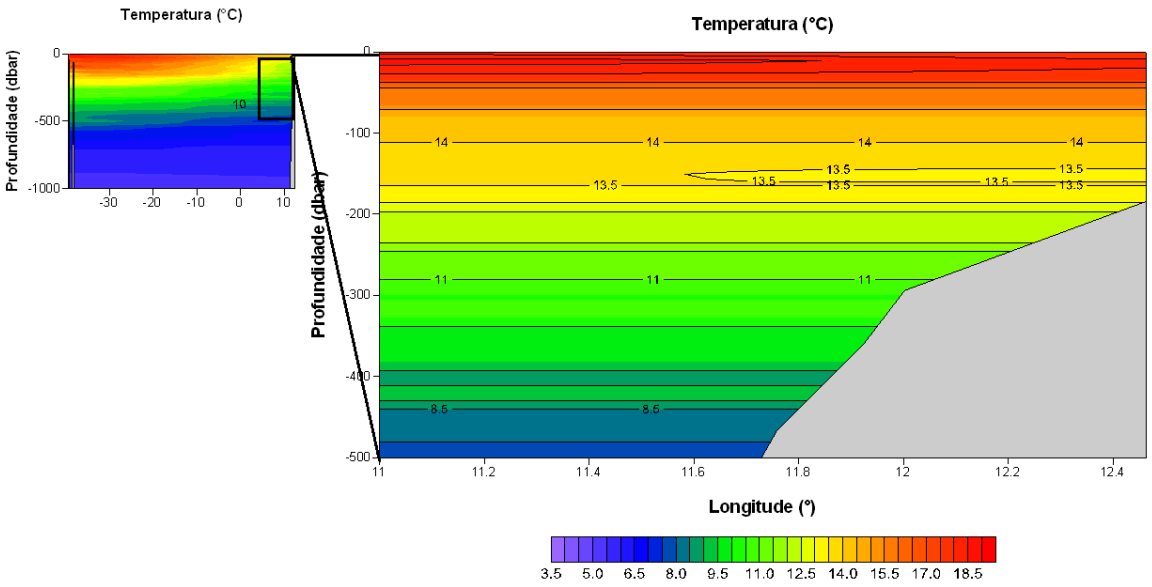

Figura 32. Distribuição de temperatura em isolinhas no programa TA-I (dezembro, 2009), na região da ressurgência costeira do sistema Angola – Benguela, próximo à costa da Namíbia.

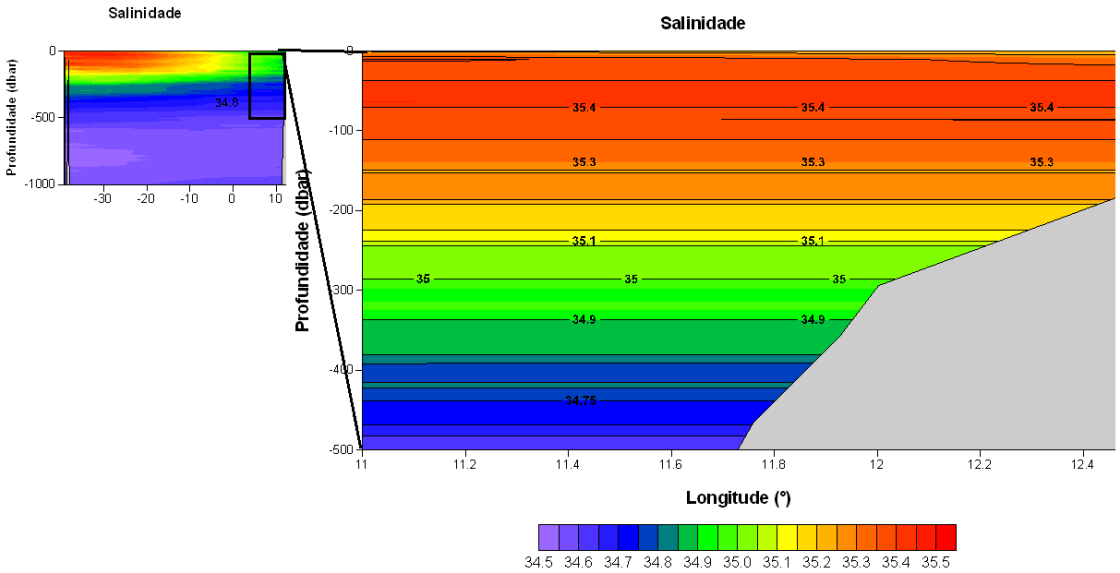

Figura 33. Distribuição de salinidade em isolinhas no programa TA-I (dezembro, 2009), na região da ressurgência costeira do sistema Angola – Benguela, próximo à costa da Namíbia.

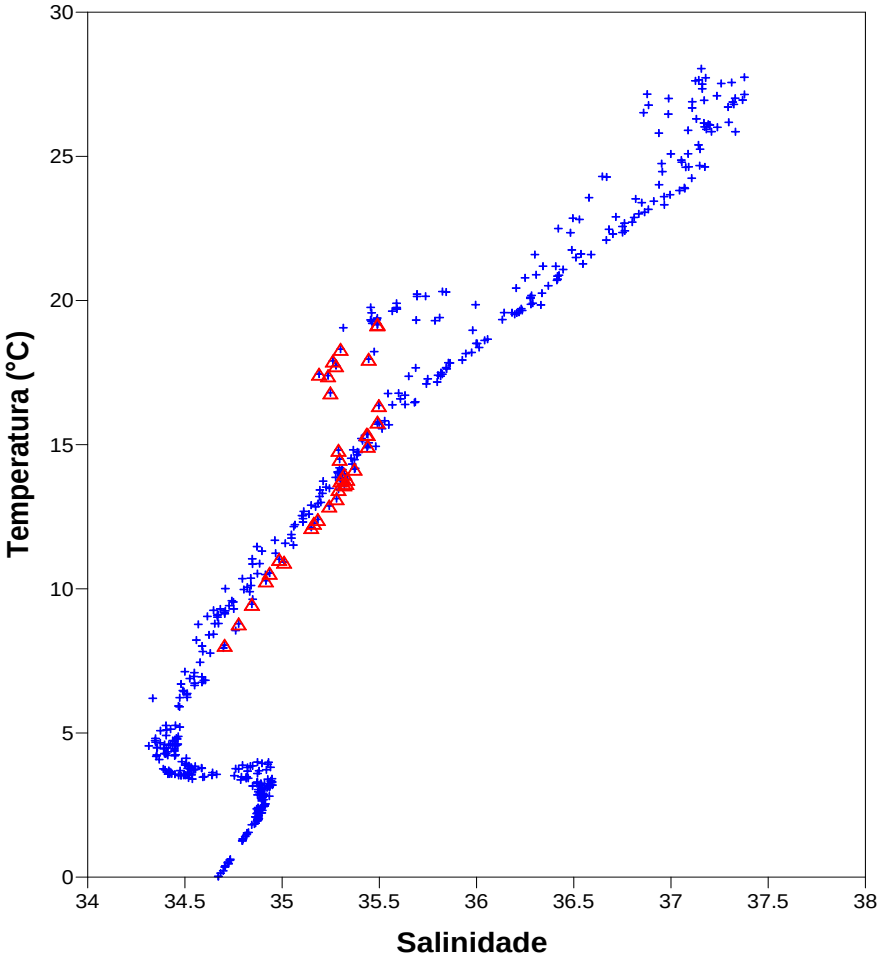

Figura 34. Diagrama T-S relativo ao Programa TA-I (2009), com as estações próximas a região da ressurgência em destaque (+ TA-I e Δ região da ressurgência).

6.2 Oxigênio Dissolvido

A distribuição de oxigênio dissolvido próximo à costa apresentou valores elevados na superfície até aproximadamente 50 dbar, provavelmente devido à intensa produtividade primária que libera oxigênio via fotossíntese, variando de 110 a 250 µmol kg^{-1} (Fig.35), atingindo os valores mais altos nas estações mais próximas da costa (#87 e #88). A região leste do Oceano Atlântico Sul é caracterizada por apresentar zonas de mínimo de oxigênio, efeito do afundamento da grande quantidade de matéria orgânica gerada através da alta produção primária na camada eufótica enriquecida pelo processo da ressurgência. Na região próxima a costa da Namíbia, foram observadas duas zonas de mínimos de oxigênio, a primeira localizada a aproximadamente 150 dbar, e a segunda a aproximadamente 280 dbar, nessas profundidades o oxigênio dissolvido atingiu valores entre 20 e 30 µmol kg^{-1}, valores baixos, característicos da zona de ressurgência costeira da Namíbia. Nesta região há a retenção de uma certa quantidade de água e da matéria orgânica presente devido a existência de um giro ciclônico, aumentando o consumo de oxigênio para a decomposição da matéria orgânica retida (NELSON; HUTCHINGS, 1983).

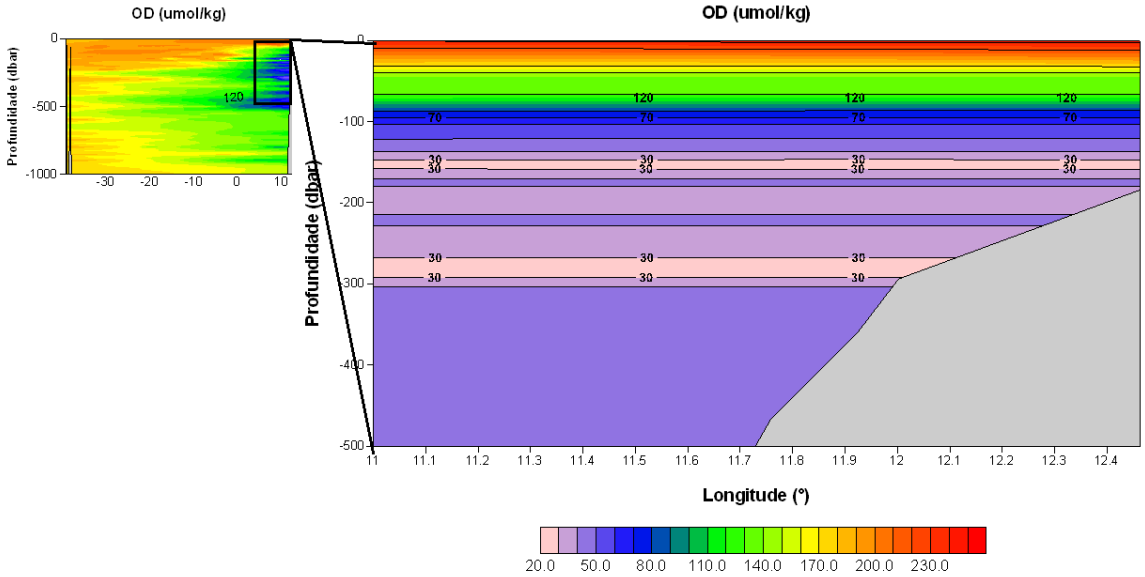

Figura 35. Distribuição de oxigênio dissolvido em isolinhas no programa TA-I (dezembro, 2009), na região da ressurgência costeira do sistema Angola – Benguela, próximo à costa da Namíbia.

6.3 Nutrientes

Os nutrientes essenciais silicato, fosfato e nitrato apresentaram um comportamento bastante similar, estão exauridos na camada superficial, até 50 dbar, e mais elevados a partir das camadas de mínimo de oxigênio, devido à regeneração dos nutrientes durante a remineralização da matéria orgânica.

O silicato foi o nutriente que apresentou uma distribuição inversamente proporcional ao oxigênio dissolvido de forma mais evidenciada (Fig.36). Na camada superficial, as concentrações apresentaram-se baixas até encontrar a primeira camada de mínimo de oxigênio, a 150 dbar onde atingiram até 19,86 µmol kg^{-1} na estação mais próxima à costa, e na profundidade mais próxima ao fundo. Abaixo dessa camada os valores para o silicato diminuem, até alcançar a segunda camada de mínimo de oxigênio, onde atingiram valores próximos a 10,00 µmol kg^{-1}, apresentando uma tendência de aumento em direção ao fundo, resultante da maior abundância de nutrientes em águas mais profundas.

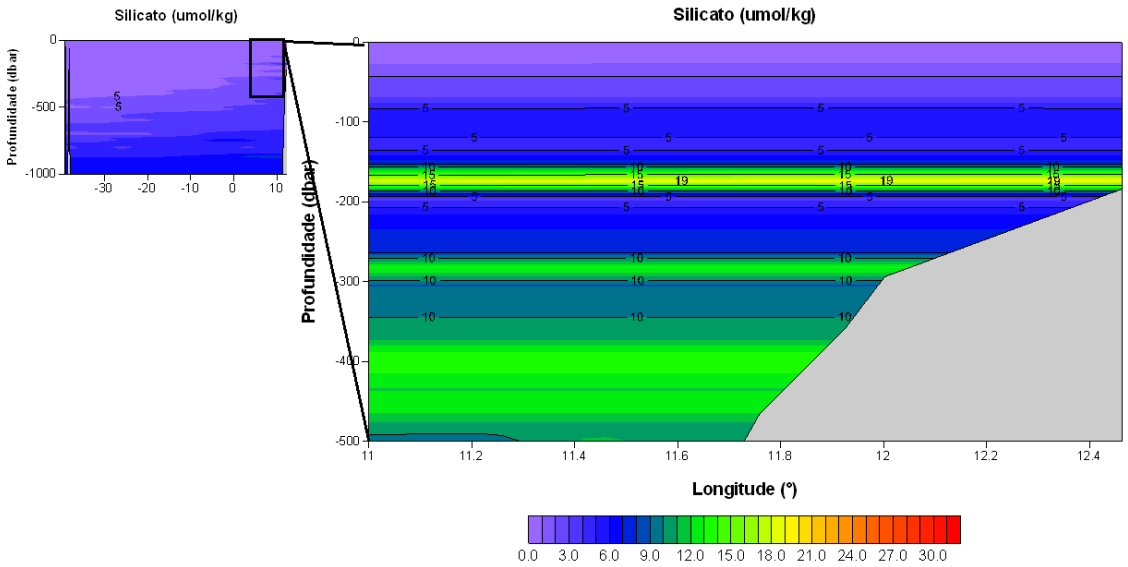

Figura 36. Distribuição de silicato em isolinhas no programa TA-I (dezembro, 2009), na região da ressurgência costeira do sistema Angola – Benguela, próximo à costa da Namíbia.

O fosfato também apresentou concentrações baixas na camada mais superficial até 50 dbar, e apresentou um máximo a aproximadamente 150 dbar, atingindo 2,45 µmol kg^{-1} no fundo da estação 87, e valores próximos a 1,50 µmol kg^{-1} nas outras estações (Fig.37). Abaixo da primeira camada de mínimo de oxigênio, as concentrações de fosfato apresentaram uma ligeira diminuição e voltaram a aumentar próxima a segunda camada de mínimo de oxigênio, mantendo esses valores mais elevados na faixa de 250 a 450 dbar (1,90 a 2,23 µmol kg^{-1}).

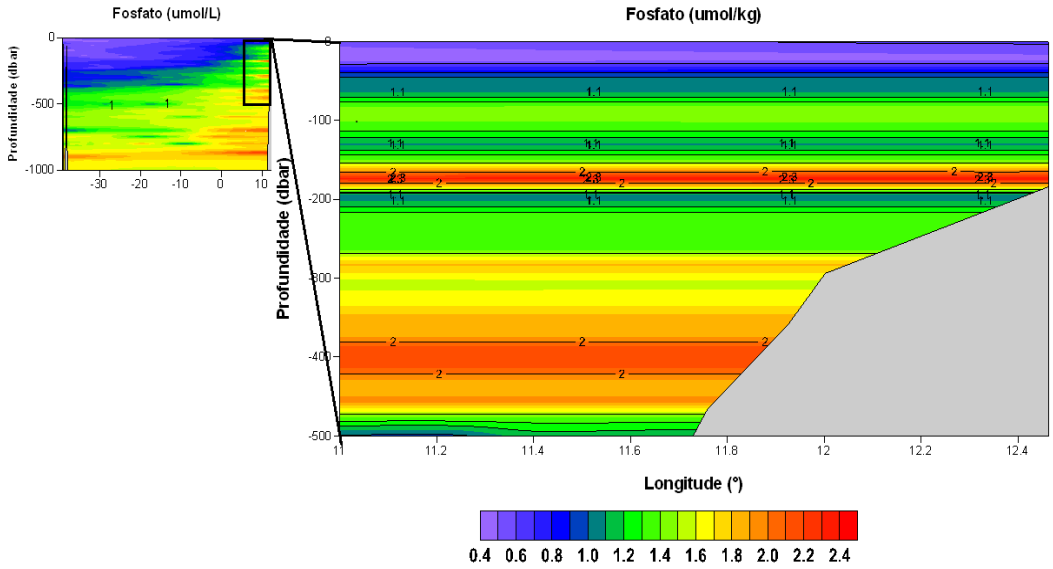

Figura 37. Distribuição de fosfato em isolinhas no programa TA-I (dezembro, 2009), na região da ressurgência costeira do sistema Angola – Benguela, próximo à costa da Namíbia.

A distribuição do nitrato acompanhou a distribuição do fosfato e silicato (Fig.38), com menores concentrações na camada mais superficial até 50 dbar, e apresentou um aumento próximo a primeira camada de mínimo de oxigênio, a 150 dbar, atingindo valores próximos a 10,00 µmol kg^{-1}. Após isto houve uma ligeira diminuição dos valores entre 150 e 220 dbar, as concentrações voltam a aumentar em direção ao fundo, atingindo valores máximos (19,05 µmol kg^{-1}) em 400 dbar, na estação 90.

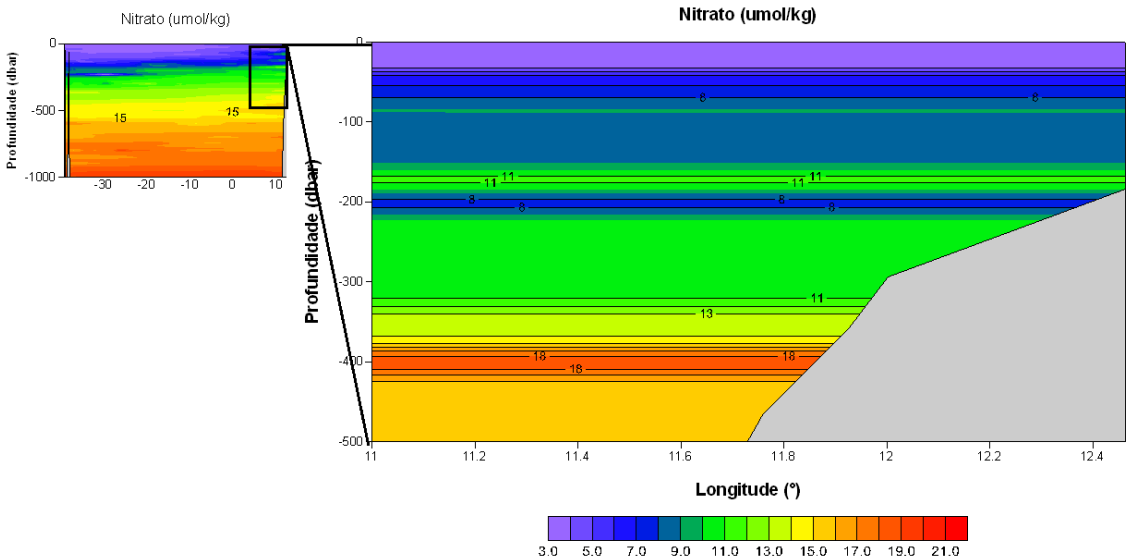

Figura 38. Distribuição de nitrato em isolinhas no programa TA-I (dezembro, 2009), na região da ressurgência costeira do sistema Angola – Benguela, próximo à costa da Namíbia.

Considerações parciais

Neste estudo, o processo de ressurgência da porção sudoeste africana foi caracterizado com a presença de águas mais frias e relativamente menos salinas, além da riqueza em nutrientes junto ao talude e também pela acentuada camada de mínimo na região da Namíbia, a 20°S. A ressurgência favorece a produção primária, e consequentemente a produção de matéria orgânica marinha, que vai passar por processos de deterioração após participação na teia alimentar. E segundo a longevidade de cada espécie, gera o afundamento de matéria orgânica na coluna d'água e sua

oxidação contribui à formação das camadas mínimo de OD. Nessas camadas (a 150 dbar e 300 dbar), a remineralização da matéria orgânica causa um aumento da concentração dos nutrientes, silício, fósforo e nitrogênio. Este último provavelmente na forma de amônio ou nitrito, devido às baixas concentrações de OD. Na profundidade de 400 dbar foi possível observar um aumento de nitrato, causada pela maior disponibilidade de oxigênio que oxida o amônio e o nitrito, transformando-os em nitrato.

7 CONCLUSÕES

- Considerando os dados hidrológicos e hidroquímicos e as informações pré-existentes geradas no Programa WOCE (1991) foram identificadas as massas de água presentes na região de estudo no Programa TA-I (2009), que apresentaram perfis de distribuição semelhantes ao primeiro e corroboraram as faixas de variação e valores relativos dos parâmetros hidroquímicos obtidos.

- Na avaliação das propriedades obtidas nos dois Programas, foram consideradas as variações devidas ao posicionamento espacial e sazonal, e à influência interanual, que revelou deslocamentos nas faixas de variação dos parâmetros considerados segundo a influência sazonal (primavera e verão), densidade da malha amostral e a diferença decadal. De um modo geral, os valores do Programa WOCE mostraram o processo mais intenso na oxidação da matéria orgânica gerada no decorrer do verão, enquanto o Programa TA-I mostrou menor intensidade na degradação, na região do extremo leste do transecto, junto à ressurgência. Os perfis gerais dos identificadores de massas de água se apresentaram similares, ou seja, obedeceram aos mesmos padrões, de forma a não acusar nenhum processo intenso que caracterizasse alteração de padrão no período considerado, salvo as diferenças decorrentes das variações temporais (sazonal e decadal).

- Os parâmetros clássicos de temperatura e salinidade, mostraram a diferença na densidade amostral e na disponibilidade de dados mais costeiros, como foi o caso do Programa TA-I refletido nas feições do tratamento de dispersão T-S.

- As massas d'água descritas na literatura: ATS, ACAS, AIA, APAN e AFA foram identificadas nos dois Programas, considerando–se as diferenças devidas às variações interanuais e de sazonalidade. Não houve diferença no padrão de distribuição das massas d'água, e sim algumas variações na distribuição dos parâmetros químicos, que apresentam um comportamento distinto, ou seja, conservativo abaixo da zona eufótica e não conservativo acima dela, devido sua participação nos processos biológicos.

- A análise das estações quase coincidentes permitiu um maior detalhamento da distribuição de cada parâmetro e suas singularidades. As diferenças entre as regiões a oeste e leste da Cordilheira Meso-Atlântica ficaram mais evidentes, demonstrando o papel da topografia e dos padrões de circulação na determinação do fluxo de cada massa.

- Os perfis dos nutrientes e da camada de mínimo de oxigênio nestas estações mostraram a feição de esgotamento de nutrientes e produção de oxigênio junto à zona mais rasa (eufótica) e, a recuperação dos nutrientes por regeneração abaixo da camada eufótica, coincidindo com a redução do oxigênio (camada de mínimo de OD). Houve maior similaridade nos perfis de nutrientes entre os dois Programas até o nível de 500 dbar e após isto houve distinção de comportamento, sobretudo entre 500 e 1500db que deve ser atribuído às variações temporais na circulação e aos processos biogeoquímicos.

- A ressurgência na costa da Namíbia, (20°S) foi caracterizada através dos dados do Programa TA-I, que evidenciou a presença de águas mais frias e menos salinas, ricas nos três sais nutrientes (silicato, fosfato e nitrato) e ainda, mostrou a presença da feição de duas camadas de mínimo de oxigênio, característica de zona de forte "chuva de matéria orgânica" abaixo de zona de intensa produtividade, sendo o segundo mínimo de oxigênio sinalizador dos processos de ciclagem biogeoquímica dos nutrientes, com ênfase à nitrificação decorrente da intensa atividade de decomposição da matéria orgânica.

- De um modo geral, as feições gerais ao longo do transecto 20°S possibilitaram o reconhecimento das massas de água já descritas em literatura do Oceano Atlântico Sul. As diferenças observadas estão mais propícias aos efeitos da variação sazonal e as diferenças na densidade da malha amostral, considerando que a metodologia aplicada na obtenção e tratamento dos dados seguiu ao máximo o procedimento aplicado no Programa WOCE, a fim de minimizar os erros de interpretação. Porém não se descarta a influência da variação decadal que pode estar associada a alguma interferência das variações climáticas globais que vem atuando no sistema ar-mar.

- Finalmente, este estudo enriqueceu o banco de informações sobre os nutrientes no Oceano Atlântico Sul, e o uso destes como identificadores de massas de água abaixo da zona eufótica, destacando papel dos nutrientes na descrição de áreas de ressurgência e nos estudos de variação global dos fenômenos oceânicos.

8 REFERÊNCIAS

ANDRIÉ, C.; GOURIOU, Y.; BOURLÈS, B.;TERNON, J. F.; BRAGA, E. S.; MORIN, P. ; OUDOT, C. 2003. Variability of AABW properties in the equatorial channel at 35ºW. **Geophysical Research Letters**, v. 30, n. 5, 18-1 – 18-4p.

BAILEY, G. W.; CHAPMAN, P. 1991. Short-term variability during anchor station study in the southern Benguela upwelling system: Chemical and physical oceanography. **Progress in Oceanography**, v. 28, p. 9-37.

BRAGA, E. S. Determinação automática de nitrato. 1997a. In: WAGENER, A. R. L.; CARREIRA, R. **Métodos analíticos de referência em Oceanografia Química**. Rio de Janeiro, MMA/SMA, Cap. 6, p. 27-29.

BRAGA, E. S. Determinação automática de nitrito. 1997b. In: WAGENER, A. R. L.; CARREIRA, R. **Métodos analíticos de referência em Oceanografia Química**. Rio de Janeiro, MMA/SMA, Cap. 7, 31-35p.

BRAGA, E. S.; MULLER, T. 1998. Observation of regeneration of nitrate, phosphate and silicate during upwelling off Ubatuba. **Continental Shelf Research**. v. 18, n. 8, p. 915-922.

BOSWELL S. M.; SMYTHE-WRIGHT D.; HOLLEY S. E.; KIRKWOOD, D. 2002. The tracer signature of Antartic Bottom Water and its spread in the Southwest Indian Ocean: Part II-Dissolution fluxes of dissolved silicate and their impact on its use as a chemical tracer. **Deep-Sea Research**: Part I, v.49, p. 575-590.

CAMPOS, E. J. D. **Estudos da circulação oceânica no AtlânticoTropical e na região oeste do Atlântico Subtropical Sul**. 1995. 144 f. Tese (Livre-Docência em Oceanografia Física) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo,.

DELFIM, R. **Estudo espaço-temporal da variação dos parâmetros físicos e químicos no transecto 30° S do Oceano Atlântico Sul**. 2012. 84 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Química) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo.

DWYER, G. S.; CHANDLER, M. A. 2008. Mid-Pliocene sea level and continental ice volume based on coupled benthic Mg/Ca paleotemperatures and oxygen isotopes. **Philosophical transactions of the Royal Society of London**. Series A, v. 367, p. 157–168.

EMERY, W. J. Water Types and Water Masses. 2003. In: Ocean Circulation. Boulder, University of Colorado: 1556-1567p.

EMILSSON, I. The Shelf and Coastal Waters of Southern Brazil. 1961. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 101-112.

GRASSHOFF, K. Determination of oxygen. 1983. In: GRASSHOFF, K.; KREMLING, K.; EHRHARDT, M. **Methods of Seawater Analysis**. 2nd ed. Weinheim: Verlag Chemie, 419 p.

GRASSHOFF, K.; KREMLING, K.; EHRHARDT, M. 1999. **Methods of Seawater Analysis**. 3rd ed. Weinheim: Wiley-VCH, 600 p.

GORDON, A. L. Brazil-Malvinas Confluence: 1984. 1989. **Deep-Sea Research**: Part A, v. 36, n. 3, p. 359 – 384.

GORDON, A. L.; GREENGROVE, C. L. Geostrophic circulation of the Brazil - Falkland confluence. 1986. **Deep-Sea Research**: Part A, v. 33, n. 5, p. 573-585, 1986.

IKEDA, Y., SIEDLER, G.; ZWIERZ, M. 1989. On the variability of Southern Ocean front locations between southern Brazil and the Antarctic Peninsula. **Journal of Geophysical Research**: Oceans, v. 94, n. 4, p. 4757 – 4762.

KECKLER, D. **The Surfer Manual**. 1995. Golden, CO: Golden Software.

MANN C. R.; COOTE A. R.; GARNER D. M. 1973. The meridional distribution of silicate in the western Atlantic Ocean. **Deep-Sea Research**, v. 20, p. 791-801.

MCGILL D. A. 1964. The distribution of phosphorus and oxygen in the Atlantic Ocean, as observed during the I.G.Y, 1957-1958. **Progress in Oceanography**, v. 2, p. 129-211.

MAMAYEV, O .I. 1975. **Temperature-salinity analysis of world ocean waters**. Amsterdam Elsevier Scientific Publishing, 371 p.

MANTYLA, A.W.; REID, J. L. 1983. Abyssal characteristics of the World Oceans waters. **Deep-Sea Research**, v. 30, p. 805-833.

NELSON, G.; HUTCHINGS, L. 1983. The Benguela upwelling area. **Progress in Oceanography**, v. 12, p. 333-356.

OUDOT, C.; TERNON, J. F.; ANDRIE, C.; BRAGA, E. S.; MORIN, P. 1999. On the crossing of equator by intermediate waters masses in the Atlantic Ocean: Identification and pathways of Antarctic Intermediate Water and Circumpolar Water. **Journal of Geophysical Research**: Oceans, v. 104, n. 9, p. 20911-20926.

PAHLOW M.; RIEBESELL U. 2000. Temporal Trends in deep ocean Redfield ratios. **Science**, v. 287, n. 5454, p. 831-833.

PETERSON, R. G.; STRAMMA L. 1991. Upper-level circulation in the South Ocean. **Progress in Oceanography**, v. 26, p. 1-73.

PICKARD, G. L. 1974. **Oceanografia física descritiva**: uma introdução. 2. ed. Rio de Janeiro : Fundação de Estudos do Mar.

REID, J. L. 1989. On the total geostrophic circulation of the South Atlantic: Flow patterns, traces and transport. **Progress in Oceanography**, v. 23, n. 3, p. 149-244.

SCHLITZER, R. **eWOCE**: Electronic Atlas of WOCE Data. 2013. Disponível em: < http://www.ewoce.org/data/index.html#WHP_Bottle_Data >. Acesso em: 1 jan. 2013.

SILVEIRA, I. C. A.; SCHMIDT, A. C. K.; CAMPOS, E. J. D.; GODOI, S. S.; IKEDA,Y. 2000. A corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 48, n. 2, p. 171-183.

STRAMMA, L.; SCHOTT, F. 1999. The mean flow field of the tropical Atlantic Ocean. **Deep Sea Research**: Part II, v. 46, n. 1/2, p. 279-303.

SVERDRUP, H. U.; JOHNSON, M. W.; FLEMING, R. H. 1942. **The Oceans**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1087 p.

TOMCZAK, M. 1999. Some historical, theoretical and applied aspects of quantitative water mass analysis. **Journal of Marine Research**, v. 57, p. 275-303.

TOMCZAK, M.; GODFREY, J. S. 1994. **Regional oceanography**: an introduction. Oxford: Pergamon, 422 p.

TSCHUYIA M.; TALLEY L. D.; MCCARTNEY, M. S. 1994. Water-mass distributions in the western South Atlantic; A section from South Georgia Island (54 S) northward across the equator. **Journal of Marine Research**, v. 52, p. 55-81.

TREGUER, P.; LE CORRE,P. 1975. **Manuel d'analysis des sels nutritifs dans l'eau de mer**. 2éme éd. Brest: Université de Bretagne Occidentale, 110 p.

VANICEK, M.; SIEDLER. G. 2001. Zonal Fluxes in the Deep Water Layers of the Western South Atlantic Ocean. **Journal of Physical Oceanography**, v. 32, p. 2205-2235.

WOOD, E. D.; ARMSTRONG, F. A.; RICHARDS, F. A. 1967. Determination of nitrate in seawater by cadmium-cooper reduction nitrite. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 47, n. 1, p. 23-31.